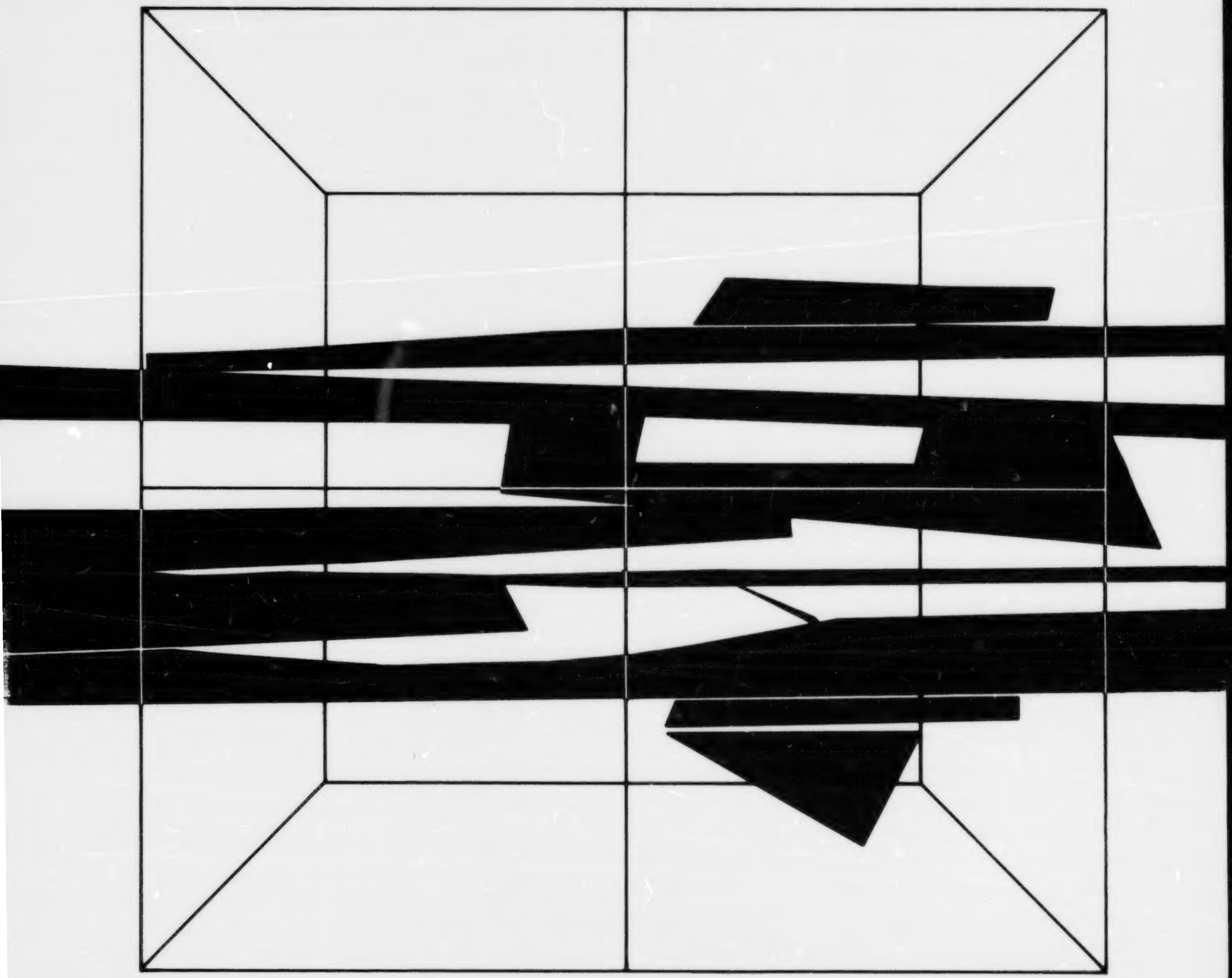
Code de recommandations techniques pour la protection de l'environnement applicable aux centrales à vapeur

Phase de la conception

Rapport SPE 1/PG/1
Janvier 1986



Environnement Canada | Environment Canada
Service de la protection de l'environnement | Environmental Protection Service

Canada

88-U1314/

RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:

SPE 3/HA/1

- 1 — Numéro de rapport portant l'identification SPE 3/HA
- HA — Code de sujet
- 3 — Catégorie de rapport
- SPE — Service de la protection de l'environnement

Catégories

1	Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2	Consultation publique: évaluation des problèmes, options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Relevés
6	Évaluations des impacts sur l'environnement
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AP	Polluants atmosphériques
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CE	Consommateurs et l'environnement
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Chimie inorganique
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions du Nord
PF	Papier et fibres
PG	Production de l'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthode de référence normalisée
TS	Systèmes de transport
UP	Pollution urbaine

Sujets et codes additionels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant à la Section des publications, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 1C8.

CODE DE RECOMMANDATIONS TECHNIQUES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT APPLICABLE AUX CENTRALES À VAPEUR

PHASE DE LA CONCEPTION

Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement
Direction des programmes industriels

Rapport SPE 1/PG/1

Publication
distribuée par la Section des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Environmental Codes of Practice for Steam Electric Power Generation
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada
N° de cat. En 49-9/1-1F
ISBN 0-662-93596-9
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

NOTE PRÉLIMINAIRE

Pour de plus amples renseignements, prière de s'adresser à:

D.W. Draper*
Chef
Division du pétrole, du gaz et de l'énergie
Direction des programmes industriels
Service de la protection
de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

(819) 997-1220

ou

P.G. Finlay
Chef
Section de la production d'électricité
Direction des programmes industriels
Service de la protection
de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

(819) 997-1220

*** Président, Groupe de travail, Code de recommandations techniques pour la protection de l'environnement, Centrales à vapeur.**

ABSTRACT

The Design Phase Code is one of a series of documents being developed for the steam electric power generation industry. This industry includes fossil-fuelled stations (gas, oil and coal-fired boilers), and nuclear-powered stations (CANDU heavy water reactors). In this document, environmental concerns associated with water-related and solid waste activities of steam electric plants are discussed. Design recommendations are presented that will minimize the detrimental environmental effects of once-through cooling water systems, of wastewaters discharged to surface waters and groundwaters, and of solid waste disposal sites. Recommendations are also presented for the design of water-related monitoring systems and programs. Cost estimates associated with the implementation of these recommendations are included. These technical guides for new or modified steam electric stations are the result of consultation with a federal-provincial-industry task force.

RÉSUMÉ

Le présent Code de recommandations techniques à la phase de la conception s'adresse à l'industrie des centrales à vapeur. Il fait partie d'un ensemble de guides techniques qui sont élaborés présentement à l'intention de ces centrales. Celles-ci comprennent d'une part les centrales à combustibles fossiles (gaz, mazout, charbon) et d'autre part les centrales nucléaires (réacteurs à l'eau lourde CANDU). Le présent guide traite des problèmes que pose, sur le plan de l'environnement, l'utilisation d'eau et la production de déchets solides. Les recommandations visent à réduire le plus possible les effets nuisibles résultant du système de refroidissement à l'eau à passage unique, des effluents rejetés dans les eaux de surface et les eaux souterraines, ainsi que de la mise en décharge des déchets solides. Les systèmes et les programmes de surveillance qui ont un rapport avec l'eau font également l'objet de recommandations. Des évaluations des coûts afférents à l'application des recommandations sont indiquées. Signalons enfin que l'élaboration des guides techniques pour centrales à vapeurs (à l'état de projet ou en cours de modification) résulte d'un processus de consultation auprès d'un groupe de travail spécial réunissant des représentants de l'industrie et des gouvernements provinciaux et fédéral.

TABLE DES MATIÈRES

	Résumé/Abstract	IV
	Liste des figures	VIII
	Liste des tableaux	VIII
1	**Introduction**	
1.1	Portée générale	1
1.2	Élaboration du Code	1
1.3	Structure du Code	2
2	**L'industrie des centrales à vapeur**	
2.1	Production et consommation d'électricité	3
2.2	Capacité de production à partir de la vapeur de 1983 à 2000	3
2.3	Types de centrales à vapeur	7
2.4	Demande en eau des centrales à vapeur	8
3	**Systèmes de circulation de l'eau dans les centrales et problèmes d'environnement**	
3.1	Classement des systèmes de circulation de l'eau dans les centrales	13
3.2	Eau de refroidissement à passage unique (eau de type 1)	14
3.2.1	Description	14
3.2.2	Problèmes d'environnement	14
3.3	Eaux usées (eau de type 2)	16
3.3.1	Description	16
3.3.2	Problèmes d'environnement	16
3.4	Surveillance	23
3.4.1	Description	24
4	**Éléments de conception et mesures recommandées**	
4.1	Eau de refroidissement à passage unique (eau de type 1)	24
4.1.1	Recommandations, explications et éléments de conception	25
4.1.1.1	Prélèvement total d'eau de refroidissement	25
4.1.1.2	Prélèvement d'eau de refroidissement auxiliaire	25
4.1.1.3	Système de pompage de l'eau de refroidissement	26
4.1.1.4	Arrêts de production	26
4.1.1.5	Emplacement de l'ouvrage de prise d'eau	27
4.1.1.6	Point d'amenée par rapport au point de restitution	27
4.1.1.7	Conception du seuil d'entrée de la prise d'eau	28
4.1.1.8	Disposition des seuils d'entrée en bordure de rive	28
4.1.1.9	Vitesse et direction de l'écoulement dans la prise et dérivation des poissons	29
4.1.1.10	Choix des pompes à eau de refroidissement	30
4.1.1.11	Lutte contre le bio-encrassement	30
4.1.1.12	Lutte contre la corrosion, l'entartrage et l'envasement	31
4.1.1.13	Température à la sortie des condenseurs	32
4.1.1.14	Aire occupée par le panache thermique	35
4.1.1.15	Emplacement et modèle de l'ouvrage de restitution	35
4.1.1.16	Système de refroidissement supplémentaire	36
4.1.2	Conséquences générales des recommandations	37
4.2	Eaux usées (eau de type 2)	37

4.2.1	Recommandations, explications et éléments de conception	37
4.2.1.1	Additifs chimiques dans le système de refroidissement par évaporation avec recyclage	38
4.2.1.2	Utilisation de l'eau dans le système de refroidissement par évaporation avec recyclage	39
4.2.1.3	Système de refroidissement auxiliaire	40
4.2.1.4	Système de traitement des cendres	41
4.2.1.5	Système de désulfuration des gaz de carneau	42
4.2.1.6	Réutilisation de l'eau	43
4.2.1.7	Décharges contrôlées	44
4.2.1.8	Séparation et stockage des eaux usées et autres déchets liquides	46
4.2.1.9	Capacité de stockage des eaux usées et autres déchets liquides	47
4.2.1.10	Mesures contre la percolation	48
4.2.1.11	Qualité des effluents d'eaux usées	50
4.2.1.12	Gestion des eaux résiduaires radioactives	52
4.2.1.13	Eaux vannes de l'équipement sanitaire	53
4.2.2	Conséquences générales des recommandations	53
4.3	Surveillance	54
4.3.1	Recommandations, explications et éléments de conception	54
4.3.1.1	Accès aux instruments de surveillance	54
4.3.1.2	Moniteurs de systèmes de refroidissement à passage unique	55
4.3.1.3	Échantillonnage des organismes aquatiques	56
4.3.1.4	Surveillance des effluents d'eaux usées	56
4.3.1.5	Surveillance des eaux utilisées dans la centrale	57
4.3.1.6	Surveillance des eaux souterraines	57
4.3.1.7	Surveillance des eaux souterraines avant l'entrée en activité	58
4.3.1.8	Surveillance du milieu aquatique avant l'entrée en activité	58
4.3.1.9	Laboratoire et salle de régie	59
4.3.2	Conséquences générales des recommandations	60

5 Résumé des recommandations

6 Coûts et conséquences économiques de l'application des recommandations

Références

ANNEXES

Les annexes suivantes ont été réunies dans un volume distinct.

Annexe A	Membres du groupe de travail, Code de recommandations techniques pour la protection de l'environnement, Centrales à vapeur
Annexe B	Données sur la production d'électricité et sur l'utilisation de l'eau
Annexe C	Quelques objectifs de protection de l'environnement, Quelques critères de qualité de l'eau, "Lignes directrices nationales sur les dégagements des centrales thermiques nouvelles", Loi sur les contaminants de l'environnement - Règlement sur les biphényles chlorés (BPC)
Annexe D	Raisons des recommandations sur l'eau de refroidissement à passage unique
Annexe E	Raisons des recommandations sur les eaux usées
Annexe F	Raisons des recommandations sur la surveillance
Annexe G	Coûts

LISTE DES FIGURES

2.1	Centrales à vapeur au Canada en 1983	4
2.2	Capacité de production et production d'électricité par type de combustible en 1983 (2)	5
2.3	Capacité des centrales à vapeur par province en 1983 et 2000 (5)	5
2.4	Capacité totale des centrales à vapeur en 1983, 1990, 1995 et 2000 (5)	6
2.5	Schéma d'une centrale à vapeur alimentée en combustible fossile	7
2.6	Schéma d'une centrale nucléaire à vapeur CANDU	8
2.7	Estimation des prélèvements d'eau au Canada en 1980, 2000 et 2020 (6)	9
2.8	Comparaison des débits d'eau d'une centrale à combustible fossile et d'une centrale nucléaire CANDU de 1000 MW	11
2.9	Estimation des volumes annuels d'eau de procédé et d'eaux usées des centrales à vapeur	12
3.1	Schéma d'un système type de transport de l'eau et des eaux usées dans les centrales au charbon	17
3.2	Schéma d'un système type de traitement de l'eau et des eaux usées dans une centrale CANDU	18
4.1	Schéma d'un système de traitement de l'eau et des eaux usées pour une centrale au charbon	33
4.2	Schéma d'un système de traitement de l'eau et des eaux usées pour une centrale CANDU	34

LISTE DES TABLEAUX

3.1	Évaluations des volumes annuels d'eaux usées de centrales à vapeur de 1000 MW	22
5.1	Résumé des recommandations portant sur les systèmes de refroidissement à passage unique (série 100)	62
5.2	Résumé des recommandations portant sur le traitement des eaux usées (série 200)	64
5.3	Résumé des recommandations portant sur la surveillance et le contrôle (série 300)	66
6.1	Principales caractéristiques de centrales à vapeur de 1000 MW	68
6.2	Évaluation des coûts des recommandations du Code de la phase de conception pour des modèles généraux de centrales de 1000 MW	69
6.3	Évaluation de l'augmentation du tarif pour le consommateur	70

1 INTRODUCTION

1.1 Portée générale

Les codes de recommandations techniques pour la protection de l'environnement, que nous désignerons plus succinctement *codes de protection de l'environnement*, applicables aux centrales à vapeur consistent en une série de documents qui indiquent de bonnes méthodes de protection de l'environnement pour les différentes phases d'un projet de centrale à vapeur. Ces documents touchent à l'emplacement, à la conception, à la construction, à l'exploitation et à la mise hors de service des centrales.

Les codes décrivent les problèmes environnementaux potentiels et différentes méthodes, techniques, conceptions, façons de faire et procédures en vue de minimiser les effets nuisibles des centrales à vapeur sur l'environnement. Les codes contiennent aussi des recommandations jugées raisonnables et des mesures pratiques pour préserver la qualité de l'environnement touché par ces centrales.

Les codes de protection de l'environnement n'ont aucun statut juridique. Ils exposent des problèmes environnementaux et indiquent des moyens de protection de l'environnement applicables aux centrales à vapeur, nouvelles ou modifiées. Les codes sont élaborés en consultation avec un groupe de travail fédéral-provincial-industrie créé par Environnement Canada (1). L'industrie de la production d'électricité, différents organismes fédéraux et provinciaux, ainsi que le grand public peuvent se servir des codes comme sources de renseignements et de conseils techniques.

L'industrie des centrales à vapeur englobe toutes les installations qui font appel à un cycle de vapeur pour produire de l'énergie électrique. Cela inclut les centrales à combustible fossile (charbon, pétrole ou gaz) et les centrales nucléaires (CANDU). Les codes de protection de l'environnement définissent des mesures de prévention applicables aux centrales nouvelles ou modifiées. Les installations "modifiées" comprennent celles qui sont agrandies (y compris celles dont les installations de production vétustes sont remplacées), celles qui sont converties d'un combustible à un autre (par exemple, du pétrole au charbon) ou d'une technique de combustion à une autre (par exemple, des chaudières alimentées au charbon pulvérisé converties en chaudières alimentées par un lit fluidisé) et celles qui sont modifiées par l'ajout d'un nouveau grand système (par exemple, un système de désulfuration des gaz de carneau adapté à une centrale au charbon). Les recommandations pertinentes des codes seraient applicables aux nouveaux systèmes des centrales modifiées et non aux systèmes existants.

Les documents sur l'emplacement, la construction, l'exploitation et la mise hors de service des centrales traitent de problèmes qui touchent plusieurs milieux (air, eau, terre). Le Code de la phase de conception porte principalement sur les problèmes reliés à l'eau. Les questions traitées dans ces documents incluent celle des eaux usées provenant de la mise en décharge des déchets solides. Les directives nationales d'Environnement Canada sur les émissions atmosphériques pour les nouvelles centrales à combustible fossile sont fournies pour fins de référence dans le Code de la phase de conception (annexe C). Les règlements du Ministère concernant les biphényls polychlorés figurent à l'annexe C.

1.2 Élaboration du Code

Le présent Code de protection de l'environnement a été élaboré avec l'aide d'un groupe de travail fédéral-provincial-industrie. Les représentants de l'industrie ont été nommés par l'Association canadienne de l'électricité. Une liste des membres du groupe de travail figure à l'annexe A. Des groupes de travail ont examiné les aspects tels l'emplacement, la conception, la construction et la mise hors de service, du point de vue de la protection de l'environnement.

En préparant le Code de la phase de conception, on a relevé des techniques et moyens de protection de l'environnement qui ont été évalués quant à leur faisabilité, leur fiabilité, leur incidence opérationnelle et leur coût. Les modèles et méthodes jugés raisonnables et pratiques dans le cas des centrales à vapeur (nouvelles ou modifiées) ont été recommandés en consultation avec les membres du groupe de travail.

Même si les recommandations du Code se veulent claires et spécifiques, elles ont été formulées de façon à ne pas être trop normatives. Il est reconnu que d'autres techniques et façons de faire peuvent être mises au point et donner des résultats équivalents ou meilleurs en termes de protection de l'environnement. Tout effort pour poursuivre la recherche, le développement et la démonstration de moyens améliorés de protection de l'environnement est encouragé.

1.3 Structure du Code

Le Code de la phase de conception comprend le présent document et sept annexes (A à G) qui sont réunies dans un volume séparé. L'annexe C, entre autres, contribue à la présentation d'une documentation complète en reproduisant les Directives nationales d'Environnement Canada sur les émissions des nouvelles centrales à combustible fossile et les Règlements sur les polychlorobiphényls afférents à la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Les aspects concernant l'industrie de la production d'électricité à partir de vapeur sont décrits au chapitre 2. Les problèmes environnementaux reliés aux systèmes à eau de refroidissement à passage unique sont abordés sommairement à la section 3.2 et détaillés avec références à l'annexe D. Les mesures et les modèles recommandés pour atténuer ces problèmes sont présentés à la section 4.1 et à l'annexe D.

Les problèmes environnementaux reliés aux eaux usées des centrales à vapeur sont abordés à la section 3.3 et des données sur la caractérisation des eaux usées sont présentées à l'annexe E, section E.2. Un choix de critères de qualité de l'eau est présenté à l'annexe C pour fins de référence. Les techniques et les éléments de conception recommandés pour réduire les rejets de polluants sont présentés à la section 4.2 et détaillés à l'annexe E, sections E.3, E.4 et E.5. Les éléments de conception recommandés pour la surveillance des eaux des centrales à vapeur sont présentés à la section 4.3 et détaillés à l'annexe F. Les recommandations du Code de la phase de conception sont résumées à la section 5. La ventilation des coûts d'application des recommandations et l'examen des conséquences économiques sont résumés à la section 6 et détaillés à l'annexe G.

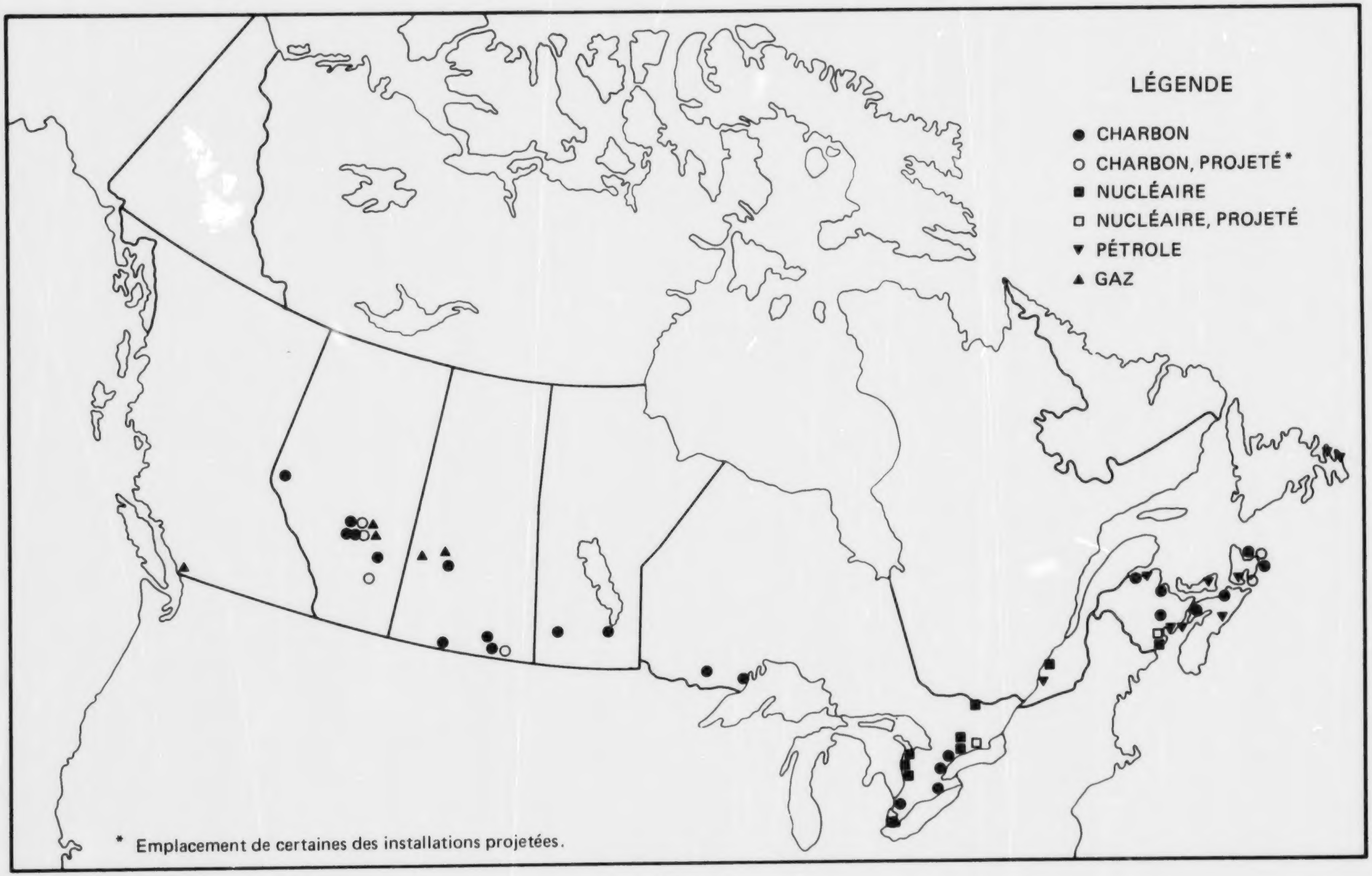


Figure 2.1 Centrales à vapeur au Canada en 1983

2 L'INDUSTRIE DES CENTRALES À VAPEUR

2.1 Production et consommation d'électricité

L'électricité sous forme de courant alternatif est produite par des générateurs qui peuvent être entraînés par un moteur à combustion interne, une turbine à gaz, une turbine hydraulique ou une turbine à vapeur. Dans ces dernières, la vapeur peut être produite par des chaudières alimentées au charbon, au pétrole ou au gaz, ou par des générateurs de vapeur alimentés par la chaleur d'une fission nucléaire.

Au Canada, la plupart des systèmes de production, de transmission et de distribution de l'électricité sont exploités par des sociétés provinciales de la Couronne. En Alberta et dans l'Île-du-Prince-Édouard, les entreprises de services publics sont privées. La figure 2.1 montre les emplacements des grandes centrales à vapeur au Canada.

Environ 18 p. 100 de la consommation nette d'énergie à des fins industrielles, commerciales et résidentielles ont été sous forme d'électricité en 1983 (2). La figure 2.2 indique les capacités nominales relatives des centrales hydro-électriques au charbon, au pétrole, au gaz et nucléaires en 1983. Les chiffres sont tirés de données présentées à l'annexe B, tableau B.1 (2). La figure 2.2 montre les contributions relatives des différents types d'installation dans la production d'électricité en 1983. Ces chiffres sont tirés de données présentées à l'annexe B, tableau B.2 (2). Une production annuelle de 396 000 GWh (gigawatts/heure) pour une population de 24 343 181 canadiens (3) représente une consommation moyenne per capita de 16 000 kWh par année. Environ 10 p. 100 de l'électricité produite en 1983 ont été exportés (2). De la quantité totale d'électricité produite en 1982, 43 p. 100 environ ont été consommés par l'industrie; 27 p. 100 par le secteur résidentiel et agricole; 22 p. 100 par les établissements commerciaux et publics et 1 p. 100 par les différents moyens de transport; 9 p. 100 ont constitué des pertes attribuables à la transmission et aux entreprises de services publics (4).

2.2 Capacité de production à partir de la vapeur de 1983 à 2000

Même si la plus grande partie de l'électricité au Canada est produite par des centrales hydro-électriques, 40 p. 100 environ de la capacité installée et plus de 30 p. 100 de la production annuelle proviennent de centrales à vapeur. La figure 2.3 donne cette capacité par province et par type de centrale thermique pour 1983 et la même capacité anticipée pour l'an 2000. Les chiffres sont tirés de données présentées à l'annexe B, tableau B.3 (5). La figure 2.4 donne les capacités actuelles et prévues des centrales thermiques canadiennes pour 1983, 1990, 1995 et 2000. Les chiffres sont également tirés de données présentées à l'annexe B, tableau B.3 (5).

Les combustibles d'alimentation diffèrent d'une province à l'autre. Les centrales au charbon de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, de la Saskatchewan et de l'Alberta utilisent du charbon indigène de chaque province, tandis que l'Ontario utilise du charbon importé des États-Unis et de l'ouest canadien. Les centrales au pétrole du Québec et des Provinces de l'Atlantique utilisent du pétrole offshore importé. Les centrales au pétrole ontariennes ne serviront pas à produire de l'électricité dans l'avenir. Les centrales au gaz de la Saskatchewan, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique utilisent du gaz indigène de chaque province. Les centrales nucléaires du Nouveau-Brunswick, du Québec et de l'Ontario utilisent l'uranium du nord de l'Ontario et de la Saskatchewan.

L'industrie des centrales à vapeur comptait en 1983 environ 45 centrales (28 786 MW): 24 au charbon (16 228 MW), 9 au pétrole (3 109 MW), 5 au gaz (2 209 MW) et 7 nucléaires (7 240 MW). Les projets de construction ou d'expansion des centrales thermiques dépendent de l'état général de l'économie, de la capacité actuelle et de la demande des différentes entreprises de services publics, ainsi que de facteurs tels que les coûts de

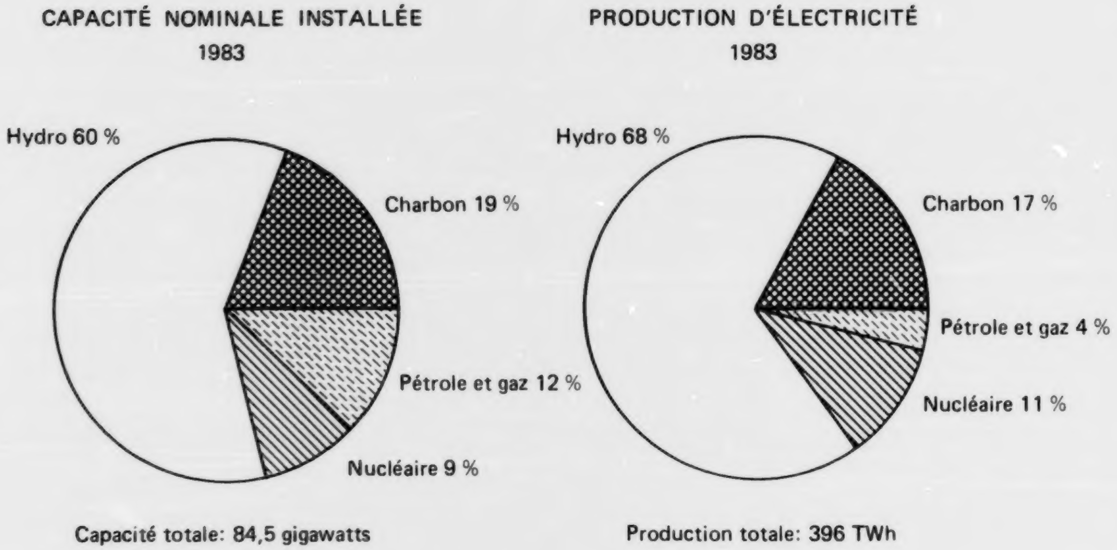


Figure 2.2 Capacité de production et production d'électricité par type de combustible en 1983 (2)

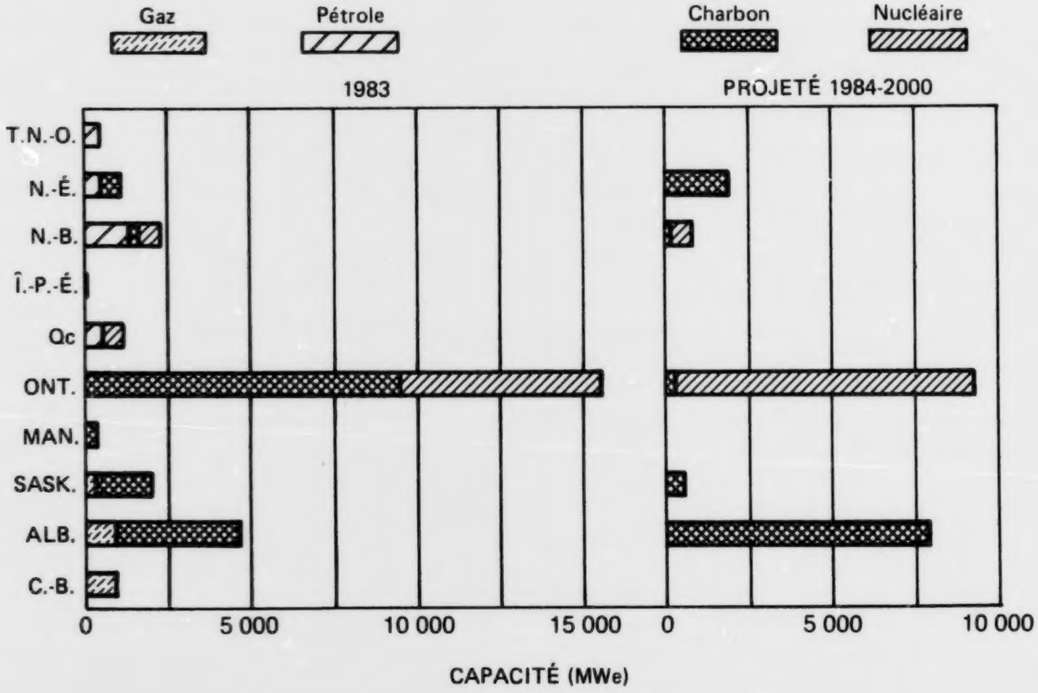


Figure 2.3 Capacité des centrales à vapeur par province en 1983 et 2000 (5)

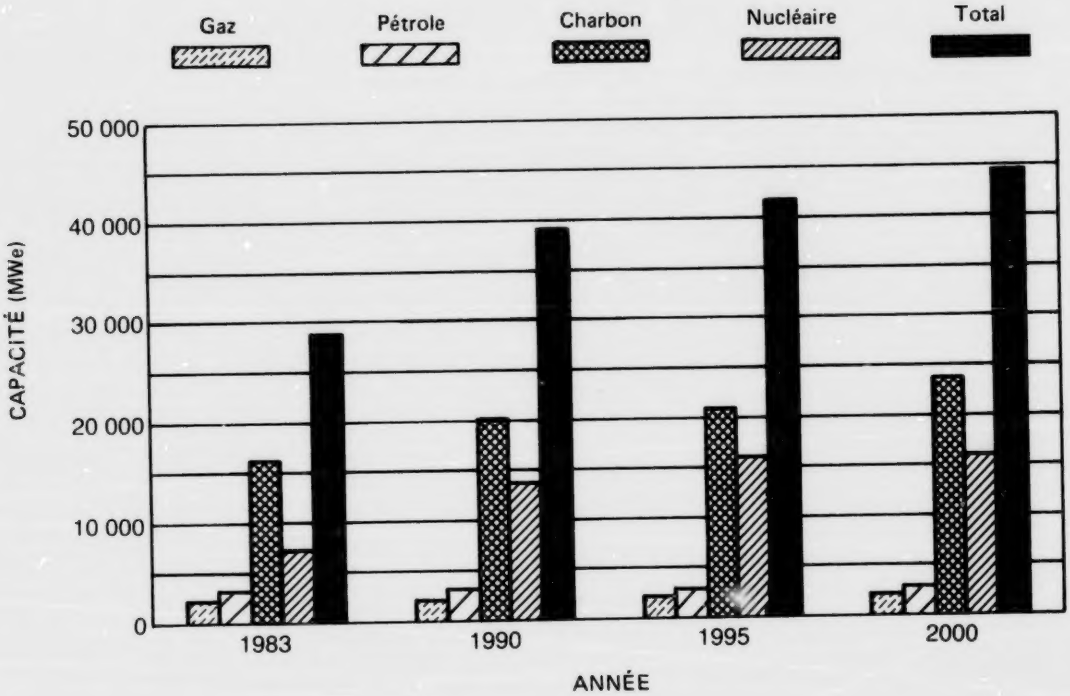


Figure 2.4 Capacité totale des centrales à vapeur en 1983, 1990, 1995 et 2000 (5)

production ou d'achat d'électricité de différentes sources. L'augmentation de la consommation d'électricité a ralenti au cours des dernières années, plus que durant les années précédentes. Les projections actuelles pour l'an 2000 (figures 2.3 et 2.4) s'appuient sur les meilleures projections actuelles des entreprises de services publics en 1983 (5). On estime qu'en termes de capacité accrue de production d'électricité à partir de la vapeur, disponible sur le marché, il y aura entre 1984 et 2000: 14 nouvelles centrales au charbon (10 863 MW); aucune au pétrole; aucune au gaz; et 4 nouvelles centrales nucléaires (8 794 MW). Ces "nouvelles" installations comprennent des installations existantes agrandies et des centrales en cours de construction qui doivent être mises en service commercialement d'ici l'an 2000. Même si la capacité et le nombre projetés d'installations relèvent de la plus pure spéculation, la figure 2.3 indique que les futurs grands projets consisteront probablement en la construction de centrales au charbon en Alberta, en Saskatchewan et en Nouvelle-Écosse, et en l'achèvement ou l'agrandissement de centrales nucléaires en Ontario et au Nouveau-Brunswick. Peu de projets sont prévus dans d'autres provinces, bien que les conditions économiques générales pourraient modifier ces projections.

2.3 Types de centrales à vapeur

Les centrales à combustible fossile et les centrales nucléaires diffèrent principalement par la méthode de production de la chaleur nécessaire pour produire la vapeur qui entraîne les turbogénérateurs. Les figures 2.5 et 2.6 schématisent les centrales alimentées par des combustibles fossiles et les centrales nucléaires canadiennes. Les centrales à combustible fossile produisent de la chaleur dans une chaudière par la combustion de charbon, de pétrole ou de gaz. Les centrales CANDU (Canadian Deuterium Uranium) produisent de la chaleur par la fission de l'uranium 235 contenu dans l'uranium naturel. Comme l'indique la figure 2.6, un courant d'eau lourde (oxyde de deutérium) ralentit les neutrons pour déclencher des réactions de fission nucléaire. L'eau lourde sert aussi à transporter la chaleur du réacteur nucléaire au générateur de vapeur. Dans les chaudières alimentées au combustible fossile et dans les générateurs de vapeur des centrales nucléaires, de l'eau déminéralisée est transformée en vapeur par la chaleur de combustion et par la chaleur des réactions nucléaires, respectivement.

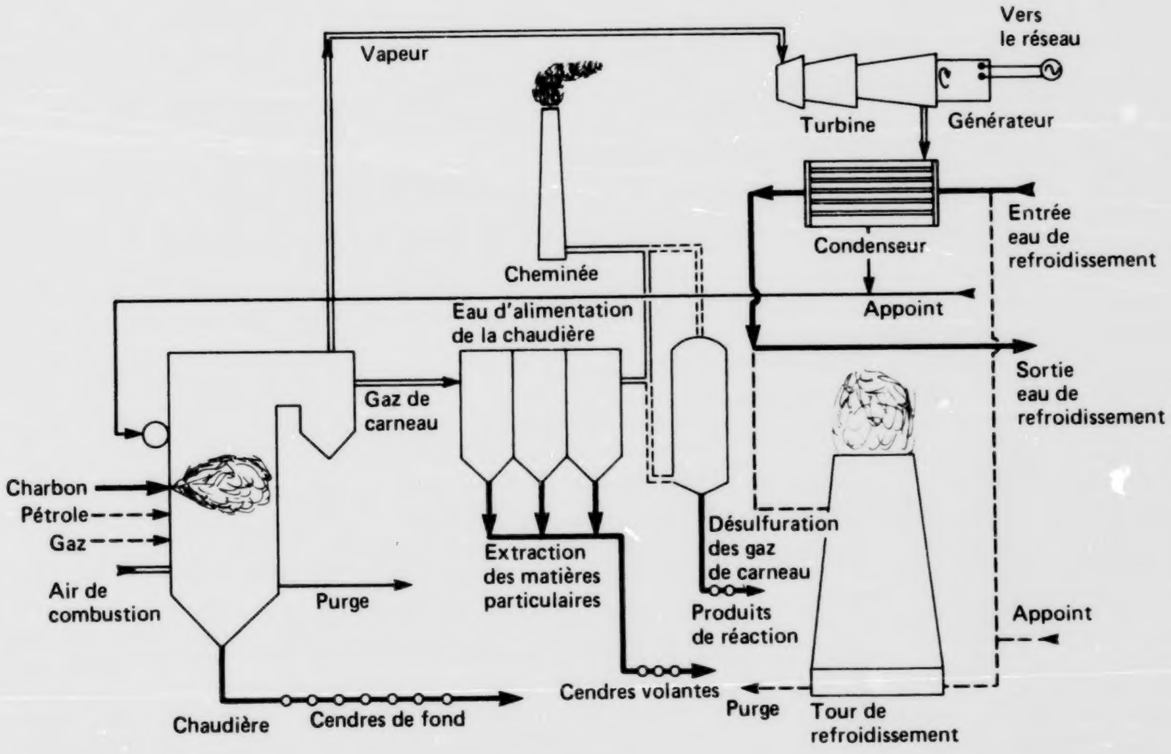


Figure 2.5 Schéma d'une centrale à vapeur alimentée en combustible fossile

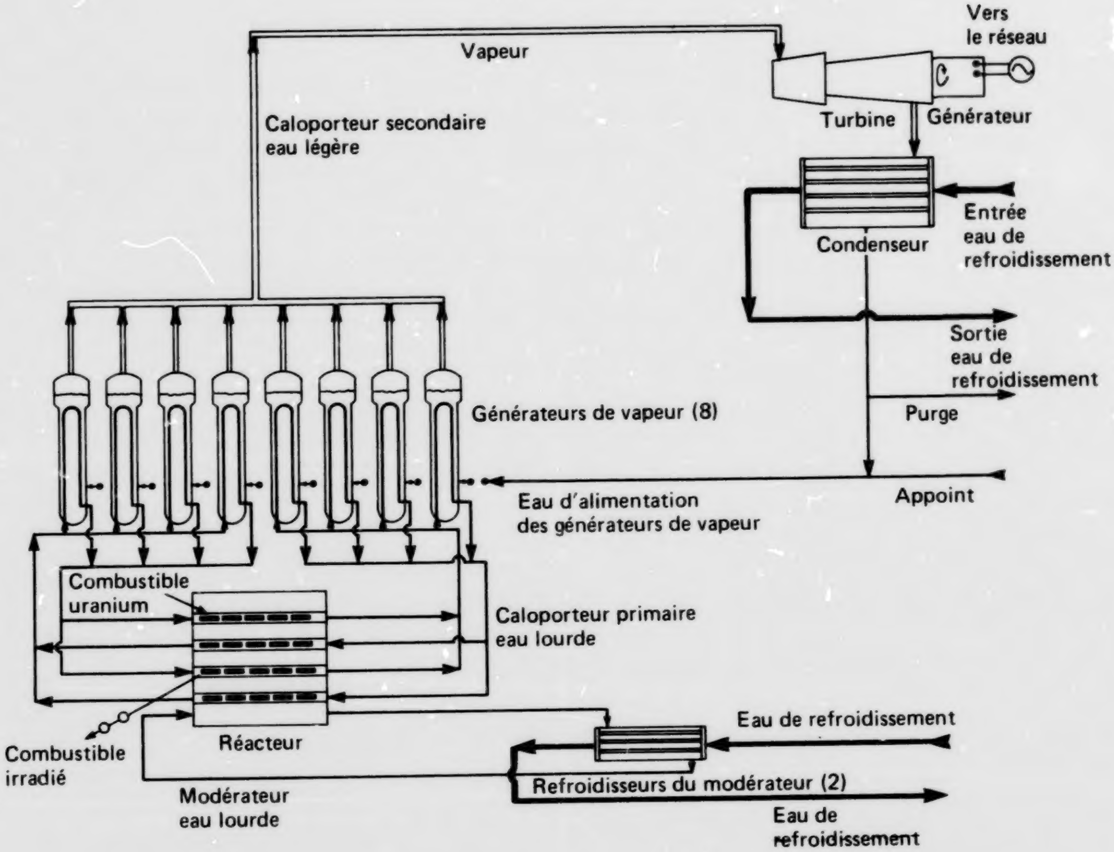


Figure 2.6 Schéma d'une centrale nucléaire à vapeur CANDU

Les rendements thermodynamiques des cycles de vapeur influent sur les besoins en eau de refroidissement des systèmes à combustible fossile et des systèmes nucléaires. Les centrales modernes à combustible fossile ont un rendement de conversion de chaleur en électricité de 38 p. 100 environ. Des autres 62 p. 100 de chaleur produite, 15 p. 100 environ sont perdus dans les gaz de combustion par la cheminée et 47 p. 100 sont perdus dans l'eau de refroidissement de la centrale lorsque la vapeur sortant de la turbine se recondense en eau pour alimenter la chaudière. Les centrales nucléaires fonctionnent à des températures et à des pressions plus basses et ont un rendement de conversion de chaleur en électricité de 30 p. 100 environ. La plus grande partie des 70 p. 100 qui restent est transférée dans l'eau de refroidissement de la centrale dans les échangeurs de chaleur du condenseur et du modérateur.

2.4 Demande en eau des centrales à vapeur

La demande canadienne en eau douce par prélèvement et consommation (c'est-à-dire inutilisable directement à d'autres fins) s'est élevée à 111 705 millions de l/j et à 9 207 millions de l/j, respectivement en 1980 (6). Les plus gros prélèvements ont été faits par les centrales à vapeur pour refroidir de l'eau (43 p. 100), par le secteur manufacturier (34 p. 100), les municipalités urbaines et rurales (11 p. 100), l'agriculture (7 p. 100) et les

mines (4 p. 100). La consommation des centrales à vapeur, estimée à 4 p. 100 au total, qui est principalement due à l'évaporation, est moindre que celle de l'agriculture (48 p. 100), des municipalités urbaines et rurales (22 p. 100), du secteur manufacturier (7 p. 100) et des mines (9 p. 100) (6).

La figure 2.7 montre des projections de prélèvements d'eau pour les années 2000 et 2020; les données sont présentées à l'annexe B, tableau B.4 (6). Une augmentation des prélèvements d'eau de 800 p. 100 a été prévue de 1980 à 2020 pour les centrales thermiques, ce qui représente une augmentation de 43 à 73 p. 100 pour la totalité des prélèvements dans l'industrie de la production d'électricité à partir de vapeur. Même si ces projections relèvent de la spéculation, une utilisation accrue de l'eau des lacs Ontario et Huron est prévisible à cause d'autres projets de centrales nucléaires; le cas sera le même en Alberta à cause d'une augmentation du nombre des centrales au charbon comme on l'a déjà indiqué aux figures 2.3 et 2.4. L'augmentation de la demande en eau dans la région des Prairies sera particulièrement marquée par suite d'une pénurie relative des ressources en eau en Alberta et en Saskatchewan. La demande future en eau de refroidissement des centrales à vapeur dans la région de l'Atlantique sera satisfaite principalement par l'eau de mer.

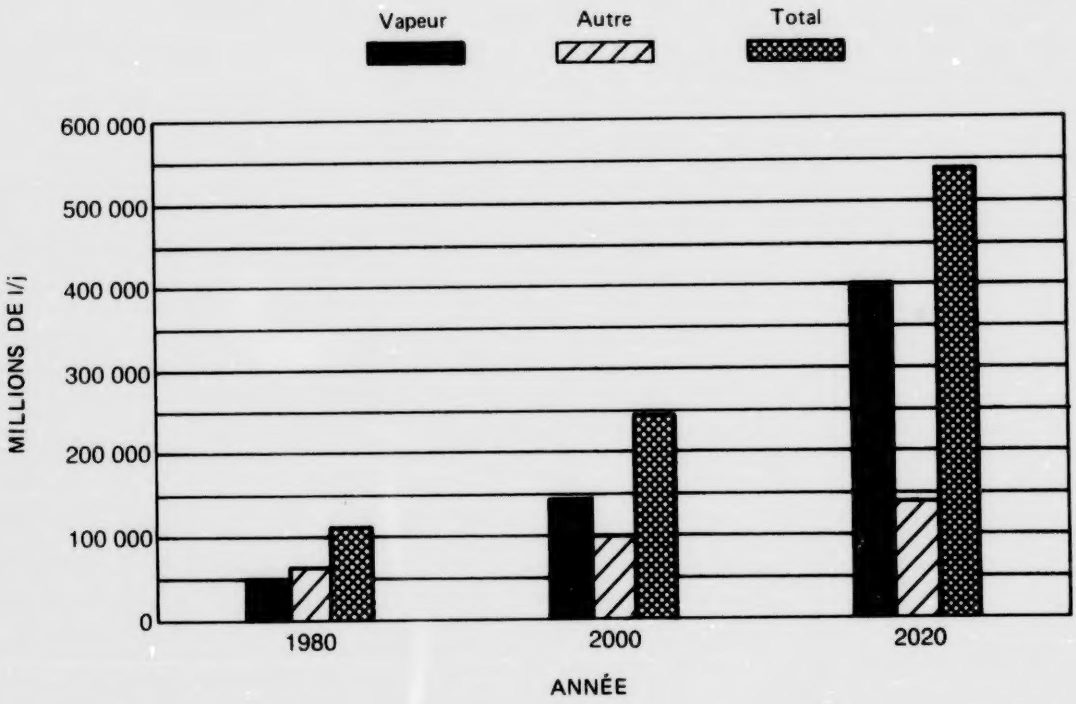


Figure 2.7 Estimation des prélèvements d'eau au Canada en 1980, 2000 et 2020 (6)

Les facteurs qui influent sur la quantité d'eau prélevée et consommée par une centrale à vapeur comprennent le type de centrale (charbon, pétrole, gaz ou nucléaire) et la conception du système de gestion de l'eau dans une centrale donnée. L'eau sert surtout à condenser la vapeur sortant de la turbine avant que le condensat ne retourne à la chaudière ou au générateur de vapeur. Le matériel auxiliaire des centrales nécessite aussi de l'eau de refroidissement. Comme les centrales nucléaires sont moins efficaces en termes de conversion de chaleur en électricité, elles utilisent plus d'eau pour une même production d'électricité. Le choix du type de système de circulation de l'eau pour une centrale donnée influera sur les quantités d'eau utilisées. Si l'eau est recirculée (réutilisée dans le même système) ou recyclée (réutilisée dans un système différent), la demande sera moindre. Par exemple, un système de refroidissement ou un système de transport avec recirculation utilise beaucoup moins d'eau que le système à passage unique.

Les centrales, tant nucléaires qu'à combustible fossile, doivent comporter des stations de traitement de l'eau pour produire une eau de haute qualité pour le cycle de la vapeur. Les deux types de centrales utilisent de l'eau pour le nettoyage des installations et du matériel, pour les toilettes et les salles de lavage du personnel, pour la protection contre le feu et pour différentes nécessités industrielles. Les précipitations (pluie et neige) peuvent entrer en contact avec des déchets solides produits par les deux types de centrales avant de rejoindre par ruissellement ou infiltration les eaux de surface ou souterraines.

La figure 2.8 montre des utilisations types de l'eau et les débits approximatifs pour les centrales produisant 1000 MW. Des centrales au charbon et une centrale nucléaire CANDU (avec refroidissement à passage unique et avec refroidissement avec recyclage) sont illustrées. Les différentes exigences de refroidissement sont indiquées (29 500 l/s pour les centrales au charbon; 55 900 l/s pour les centrales nucléaires). Des tours et des étangs de refroidissement par évaporation pourraient réduire de 95 p. 100 environ les besoins de refroidissement à passage unique. Pour les centrales au charbon, des systèmes de traitement des cendres avec recyclage plutôt qu'à passage unique réduiraient la quantité d'eau utilisée.

La figure 2.9 donne des évaluations de la quantité d'eau utilisée par les centrales à vapeur chaque année. Les évaluations sont basées sur des données de production annuelle et des débits théoriques types pour des systèmes de refroidissement à passage unique (voir annexe D) et pour les eaux usées (voir annexe E). Les grands consommateurs d'eau de refroidissement de condenseur et d'eau de refroidissement auxiliaire ont été les centrales nucléaires, et les grands producteurs d'eaux usées ont été les centrales au charbon.

Dans les municipalités, le volume type d'eau utilisé est de l'ordre de 100 m^3/année-personne. Même si l'eau de refroidissement à passage unique est retournée très peu polluée au cours d'eau d'origine et n'est pas consommée comme l'eau fournie par les municipalités, on peut comparer les volumes d'eau municipale et ceux des centrales à vapeur. La quantité d'eau prélevée pour refroidir les condenseurs ($1{,}5 \times 10^{+10}$ m^3/an) et le matériel auxiliaire ($1 \times 10^{+9}$ m^3/an) et la quantité d'eau polluée rejetée par les centrales ($7 \times 10^{+7}$ m^3/an) seraient équivalentes à la quantité annuelle d'eau prélevée par 150 millions, 10 millions et 0,7 million de personnes respectivement, si ces volumes étaient utilisés par des municipalités. Cependant, la seule "consommation" d'eau de refroidissement sans recyclage (à passage unique) se fait par évaporation dans les eaux réceptrices.

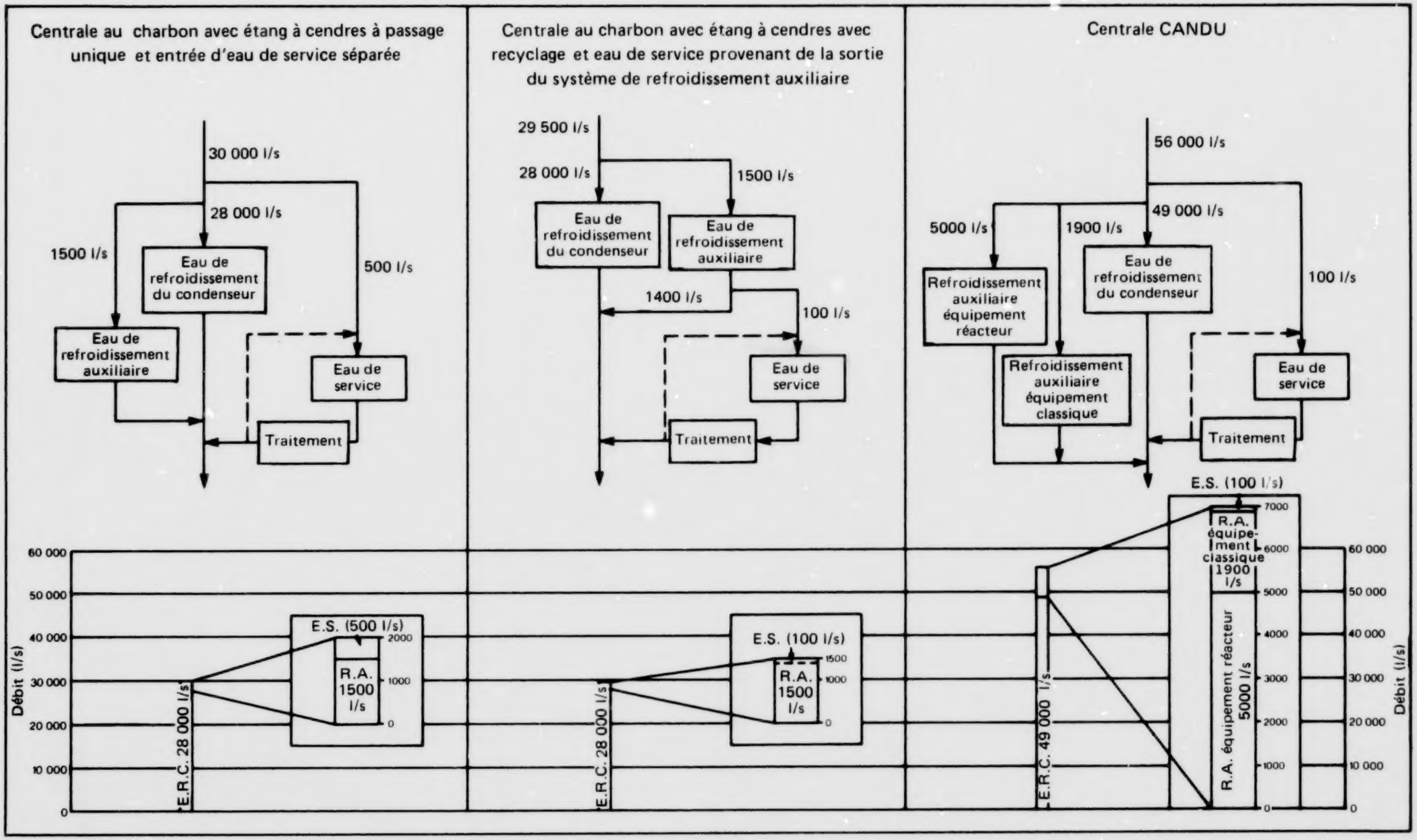


Figure 2.8 Comparaison des débits d'eau d'une centrale à combustible fossile et d'une centrale nucléaire CANDU de 1000 MW

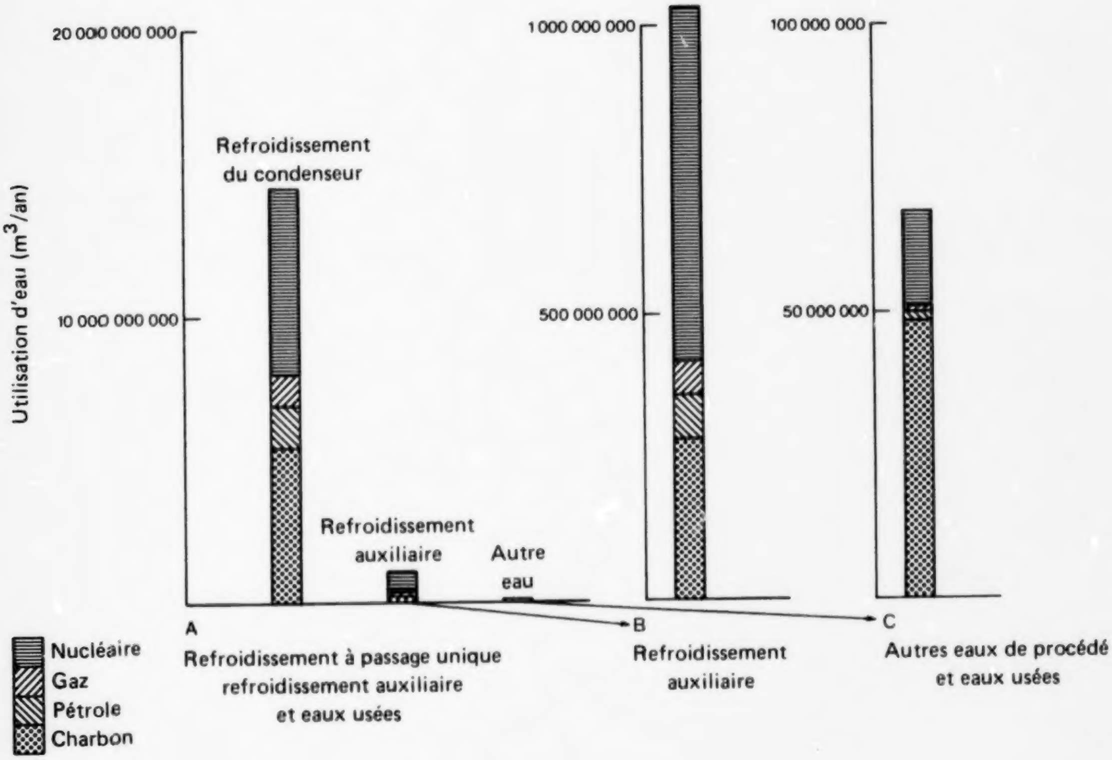


Figure 2.9 Estimations des volumes annuels d'eau de procédé et d'eaux usées des centrales à vapeur

3 SYSTÈMES DE CIRCULATION DE L'EAU DANS LES CENTRALES ET PROBLÈMES D'ENVIRONNEMENT

3.1 Classement des systèmes de circulation de l'eau dans les centrales

Aux fins du Code de la phase de conception, on a réparti les eaux des centrales à vapeur en deux classes qui sont définies comme suit:

Type 1

Eaux de refroidissement des condenseurs sans recyclage, c.-à-d. à passage unique, et eaux de refroidissement auxiliaire sans recyclage non considérées comme polluées par des substances nocives.

Type 2

Toutes les eaux des centrales réputées pour contenir ou susceptibles de contenir une ou des substances nocives. (Ces "eaux usées" comprennent les eaux de traitement et de nettoyage usées, les eaux de purge des systèmes avec recyclage, les eaux de ruissellement et d'infiltration et les eaux de refroidissement auxiliaire à passage unique (ou sans recyclage) susceptibles d'être polluées.)

Des schémas de systèmes types de circulation des eaux et des eaux usées sont présentés à la figure 3.1 pour des centrales au charbon et à la figure 3.2 pour des centrales nucléaires CANDU. On y trouve des circuits d'eau de refroidissement des condenseurs à passage unique, c.-à-d. sans recyclage, (type 1) et différents circuits d'eaux usées (type 2).

Comme il est indiqué à la section 2.4, le plus gros prélèvement d'eau au Canada provient des centrales ayant un système de refroidissement à passage unique. L'eau de refroidissement des condenseurs sans recyclage est considérée de type 1 parce qu'elle n'est habituellement pas polluée par des substances nocives. Il en est ainsi parce que le fluide caloporteur refroidi (le condensat de vapeur) est maintenu à une pression inférieure à celle de l'eau de refroidissement sans recyclage dans le condenseur et que la chaleur, les biocides et les eaux usées (de type 2) ajoutés à l'eau de refroidissement sans recyclage sont contrôlés de façon à minimiser les effets nocifs potentiels. Les principaux problèmes environnementaux reliés aux systèmes de refroidissement des condenseurs sans recyclage tiennent aux énormes quantités d'eau utilisées et aux dommages que pourraient subir les organismes aquatiques se trouvant dans cette eau par suite de contraintes physiques, thermiques et chimiques. On s'inquiète aussi du sort des organismes aquatiques habitant les eaux réceptrices: ils sont soumis aux chocs thermiques que provoquent les effluents chauds des systèmes de refroidissement.

Les organismes aquatiques qui se trouvent dans les eaux de refroidissement auxiliaire (utilisées pour refroidir des fluides autres que le condensat) souffriront très probablement du cheminement sinueux de cette eau dans la centrale et des températures souvent supérieures aux températures dans le condenseur. En outre, comme la pression des fluides refroidis est supérieure à celle de l'eau de refroidissement auxiliaire sans recyclage, cette dernière peut être polluée. Lorsque cela se produit, ces eaux de refroidissement auxiliaire à passage unique sont classées type 2.

Les autres eaux de traitement et de service, et les eaux usées résultantes, présentent un faible volume par rapport à celui de l'eau de refroidissement à passage unique. Cependant, leurs volumes sont du même ordre de grandeur que ceux de beaucoup d'autres eaux usées industrielles. Les problèmes d'environnement potentiels reliés à l'eau de type 2 (ou "eaux usées") comprennent les effets nocifs des polluants rejetés dans les eaux de surface et les eaux souterraines réceptrices. Parmi ces derniers, on trouve de l'huile, de la graisse, des produits chimiques de réaction, des polluants à l'état de trace (provenant par exemple du charbon) et des radionucléides (provenant par exemple de réactions nucléaires).

Les sections qui suivent décrivent d'autres centrales à vapeur et d'autres problèmes d'environnement dont elles sont à l'origine. Pour plus d'information sur les systèmes de refroidissement à passage unique et leurs eaux usées, consulter les annexes D et E. Le contrôle des débits d'eau est abordé à l'annexe F.

3.2 Eau de refroidissement à passage unique (eau de type 1)

3.2.1 Description.- Aux fins du Code de la phase de conception, l'eau de refroidissement à passage unique (ou eau de type 1) comprend l'eau de refroidissement du condenseur sans recyclage et l'eau de refroidissement auxiliaire sans recyclage qui est considérée comme non susceptible d'être polluée.

En général, le système de refroidissement à passage unique (ou en circuit ouvert) comporte les éléments suivants: entrée de la prise, canal d'amenée, grilles à débris, filtres, pompes, condenseurs et échangeurs de chaleur, et sortie de restitution. L'eau est prélevée dans un lac, cours d'eau ou océan par une prise en bordure de rive ou immergée au large. L'eau est acheminée dans un canal d'amenée. Des grilles à débris (barreaux verticaux espacés de 100 mm normalement) retiennent les gros débris; des filtres à guillotine (mailles de 10 mm^2 en général) éliminent les petits débris et les poissons. Des pompes font circuler l'eau de refroidissement dans le condenseur de chaque générateur qui contient habituellement plusieurs milliers de tubes (de 25 mm de diamètre en général). La chaleur de condensation de la vapeur qui sort des turbines est transférée dans l'eau de refroidissement à mesure que cette dernière traverse les tubes du condenseur. Du condenseur, l'effluent chaud est rejeté dans le plan d'eau récepteur, par un canal dont la sortie se trouve soit en bordure de rive, soit immergée à une certaine distance de la rive.

En plus de refroidir le condenseur, l'eau de refroidissement auxiliaire à passage unique sert, dans les centrales à combustible fossile et les centrales nucléaires, à refroidir l'équipement (moteur, pompes, compresseurs et générateurs). Les centrales nucléaires utilisent aussi de grandes quantités d'eau pour refroidir l'équipement du réacteur. L'eau de refroidissement auxiliaire est habituellement prélevée dans le canal d'amenée ou dans la conduite d'eau de refroidissement du condenseur, en amont de ce dernier. Elle est pompée à travers une longue tuyauterie vers différentes pièces d'équipement. Les échangeurs de chaleur servent ici à extraire la chaleur du fluide caloporteur (huile ou eau). L'eau de refroidissement auxiliaire à passage unique est habituellement rejetée dans les mêmes conduites que l'eau de refroidissement du condenseur. Normalement, une centrale nucléaire CANDU utilise au-delà de quatre fois plus d'eau de refroidissement auxiliaire et près de deux fois plus d'eau de refroidissement qu'une centrale à combustible fossile de même capacité.

3.2.2 Problèmes d'environnement.- Les deux dangers pour l'environnement que représentent les systèmes de refroidissement à passage unique (voir détails à l'annexe D) sont:

1) Les dommages dus aux effets physiques, thermiques et chimiques que subissent les espèces biologiques présentes dans l'eau prélevée pour le refroidissement;
2) Les effets nocifs des effluents chauds rejetés dans les eaux réceptrices.

Les facteurs qui déterminent l'ampleur des dommages causés au biote sont le volume d'eau prélevée et les concentrations d'espèces aquatiques présentes dans cette eau. Dans les vastes étendues d'eau (grands lacs et océans), les zones littorales ou côtières sont habituellement vitales pour l'équilibre biologique du système. La plupart des poissons passent une partie de leur vie dans les eaux peu profondes qui sont favorables au frai, au développement des alevins et à la migration. Dans les grandes étendues d'eau, ces lieux essentiels à forte productivité biologique représentent peu par rapport à la superficie et

au volume de la nappe d'eau. On trouve aussi des endroits biologiquement très vulnérables dans les estuaires des fleuves et dans les franges littorales des grands cours d'eau. L'endommagement prolongé des secteurs vulnérables peut entraîner un déclin irréversible de certaines espèces d'un écosystème.

Aux fins du Code de la phase de conception:

> La *zone littorale* est définie comme la portion comprise entre le rivage et le point où la profondeur de l'eau est la plus élevée des deux valeurs suivantes: a) le double de la valeur mesurée au disque de Secchi; b) 10 mètres.

Même si plusieurs modèles de systèmes de refroidissement étudiés ont trait à la protection de la zone littorale, il est possible qu'il faille accorder une attention particulière aux autres zones des nappes d'eau réceptrices. Par exemple, dans les eaux salées, il se peut qu'il faille prendre en considération un lieu de migration du saumon ou de frai du homard au-delà de la zone littorale.

Le piégeage est la capture d'organismes aquatiques dans le courant d'eau de refroidissement. Les poissons et autres organismes aquatiques sont d'abord piégés dans l'eau de refroidissement lorsqu'ils ne peuvent résister à l'entraînement dans la prise d'eau. Le plancton, parce qu'il ne peut se mouvoir et flotte librement, est très sujet au piégeage. Il se peut que les poissons piégés dans le canal d'amenée soient incapables de retourner dans le plan d'eau d'où ils viennent et s'épuisent à force de nager à contre-courant. Les organismes piégés peuvent être "acculés", ou forcés et capturés sur les filtres d'entrée. Après avoir souffert d'abrasion en traversant la grille à débris, les poissons peuvent succomber des suites d'un écaillage en tentant de s'échapper ou d'une exposition prolongée hors de l'eau lorsqu'ils sont acculés contre les filtres. L'entraînement est le passage des organismes dans les conduites d'eau, les pompes et les condenseurs.

L'ichthyoplancton (oeufs et larves de poisson) et les autres organismes assez petits pour franchir les filtres à guillotine seront soumis à des contraintes physiques (abrasion, cisaillement et accélération) en traversant les pompes à eau de refroidissement. Ils peuvent ensuite être soumis à d'autres contraintes physiques moindres en passant dans les conduites, les condenseurs et les échangeurs de chaleur. S'ajoutent les contraintes thermiques dans les condenseurs et les échangeurs de chaleur. Si les températures dépassent la limite létale pour une espèce particulière, les organismes de cette espèce meurent. Les organismes entraînés sont soumis à des contraintes chimiques si l'eau de refroidissement contient des biocides, comme le chlore, destinés à empêcher l'encrassement par des matières organiques des tubes des condenseurs et des échangeurs de chaleur ou d'autres parties du circuit de refroidissement. Lorsque l'eau de refroidissement est rejetée, ces organismes peuvent subir des chocs dans les conduites d'évacuation, puis un choc thermique lorsque l'eau revient à la température ambiante.

D'autre part, les organismes qui échappent à la prise peuvent être emportés par le panache thermique se dégageant de la sortie de restitution. Les effluents chauds peuvent poser des problèmes: changements dans le frai, l'incubation et le développement des alevins et changements dans le déplacement des espèces de poisson entre le littoral et le large. À ces problèmes s'ajoutent les maladies fongiques et bactériennes du poisson, l'absorption accélérée de substances toxiques et le choc thermique relié aux chutes de température qui surviennent lorsque la centrale arrête de fonctionner. Un problème particulier est celui du déplacement possible du panache thermique le long du rivage biologiquement sensible, au lieu de sa diffusion dans l'étendue d'eau. Ces courants littoraux peuvent aussi entraîner les polluants contenus dans l'eau de type 2 du circuit de refroidissement à passage unique, laquelle peut être dirigée dans les zones d'eau de boisson des municipalités situées sur les rives de plans d'eau douce.

Aux fins du Code de la phase de conception, on fait une distinction entre les réservoirs avec recirculation et les réservoirs sans recirculation. Un réservoir déchargeant

chaque année moins de 3 m^3/s par 1000 MW de capacité de production installé et qui était peuplé d'une faune aquatique de peu d'importance avant sa constitution est considéré comme un réservoir avec recirculation (eau de type 2). Les caractéristiques de conception recommandées pour les systèmes de refroidissement à passage unique (eau de type 1) dans la section 4.1 ne seraient pas applicables à ces réservoirs.

Les principaux bassins susceptibles d'être touchés par de futurs systèmes à passage unique pourraient être les lacs Ontario et Huron, à cause d'une production accrue de grandes quantités d'énergie nucléaire. Si l'Alberta et la Saskatchewan ne se dotent pas de systèmes de refroidissement avec recirculation pour augmenter la production future dans des centrales au charbon, leurs ressources limitées en eau seront touchées. Dans les provinces de l'Atlantique, les futurs systèmes à passage unique poseront aussi des problèmes à cause d'une production accrue des centrales au charbon et nucléaires qui utiliseront de l'eau de mer.

L'activité et la sensibilité biologiques auront des caractères différents d'un plan d'eau à l'autre et d'un endroit à l'autre dans chaque plan d'eau. Pour tous les plans d'eau, des mesures peuvent toutefois être prises afin de minimiser l'incidence des rejets des systèmes à passage unique et de préserver la qualité de l'environnement. Ces mesures sont présentées en 4.1 et résumées au chapitre 5.

3.3 **Eaux usées** (eau de type 2)

3.3.1 Description.- Aux fins du Code de la phase de conception, les eaux usées (ou eau de type 2) sont les eaux réputées pour contenir ou susceptibles de contenir une ou plusieurs substances nocives découlant de l'activité des centrales à vapeur.

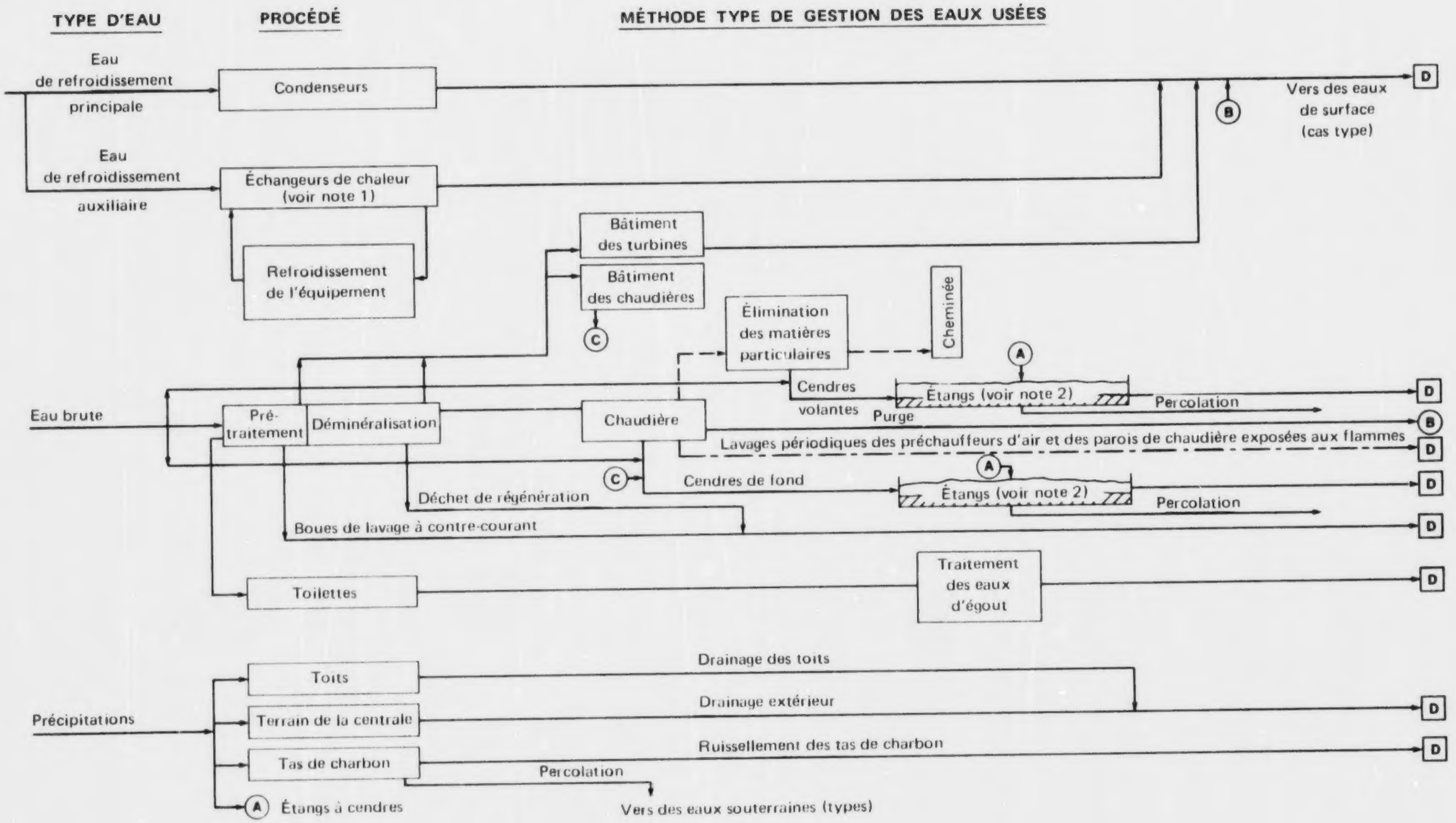
Comme l'indiquent les figures 3.1 et 3.2, les centrales à vapeur alimentées au combustible fossile (charbon, pétrole ou gaz) et à l'énergie nucléaire utilisent de l'eau douce pour alimenter une station de traitement qui déminéralise l'eau destinée aux chaudières ou aux générateurs de vapeur et qui en général produit aussi de l'eau potable ou d'usage domestique. De l'eau douce peut être utilisée directement sans traitement pour des services tels que les joints de pompes, le lavage de l'équipement et des planchers, la protection contre le feu, etc., selon la qualité de l'eau brute.

Lorsqu'une centrale est dotée d'un système (tour ou étang) de refroidissement par évaporation avec recyclage, des quantités d'eau relativement considérables sont nécessaires pour compenser les pertes d'évaporation et autres.

En plus de ces besoins d'eau, les centrales alimentées au charbon ont besoin d'eau pour transporter les cendres de fond de la chaudière et pour transporter les cendres volantes de l'installation d'élimination des matières particulaires. Lorsqu'une centrale à combustible fossile est munie d'un système de désulfuration des gaz de carneau (DGC), il faut disposer de quantités d'eau supplémentaires pour la préparation des réactifs de l'épurateur, les joints de pompe, les appoints du système, etc.

Les besoins en eau de traitement et de service des centrales nucléaires CANDU seront semblables pour les services qu'on trouve dans toutes les centrales à vapeur. Les quantités d'eau de service par unité de capacité installée pourraient être supérieures à celles requises par une centrale à combustible fossile de même capacité parce que la demande en eau déminéralisée de haute qualité est en général plus élevée et le personnel plus nombreux, ce qui signifie plus d'eau pour les douches, la lessive, etc.

3.3.2 Problèmes d'environnement.- Tous ces services qui consomment de l'eau produisent des eaux usées dont les caractéristiques varient selon leur utilisation et selon les polluants avec lesquels elles entrent en contact au cours du processus. Si l'eau de refroidissement auxiliaire sans recyclage est à une pression inférieure à celle du fluide



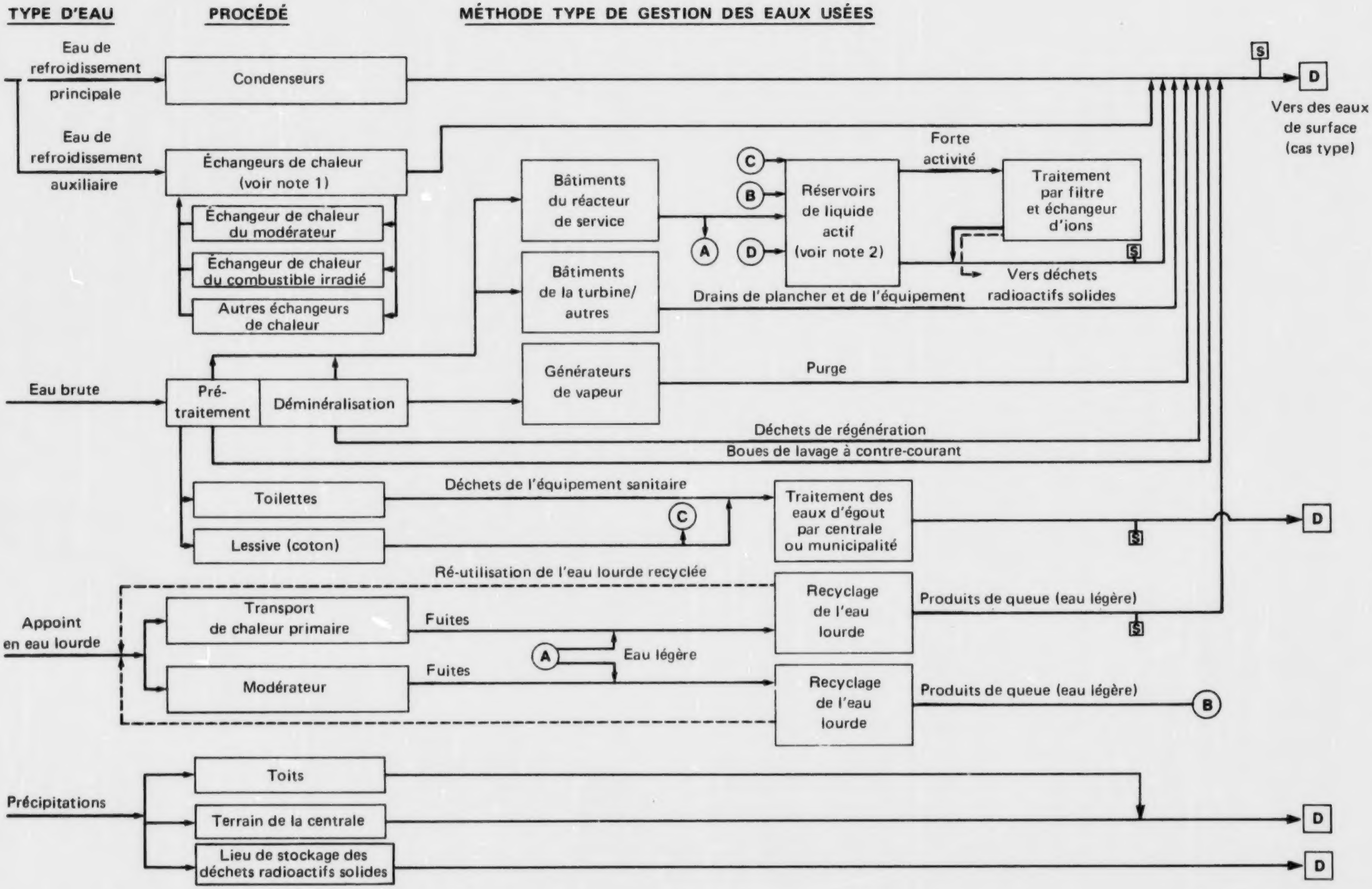
NOTE 1: Le refroidissement direct à passage unique est répandu pour le recyclage auxiliaire, même si certains systèmes avec recyclage sont aussi utilisés comme il est indiqué. Une boucle de recyclage intermédiaire est utilisée pour le transport de l'eau de mer.

NOTE 2: Les systèmes de transport des cendres volantes et des cendres de fond sans recyclage qui sont illustrés sont rarement utilisés dans les nouvelles usines.

→(A)(A)→ Indique le passage d'une source à un point de rejet

[D] Décharge

Figure 3.1 Schéma d'un système type de transport de l'eau et des eaux usées dans les centrales au charbon



NOTE 1: Certains modèles font appel à un échangeur de chaleur secondaire et une boucle de refroidissement avec recyclage, tels qu'indiqués, tandis que, dans d'autres l'eau de refroidissement sans recyclage est acheminée directement vers le modérateur et d'autres échangeurs de chaleur.

NOTE 2: (D) Les réservoirs de liquide actif contiennent aussi les déchets des provenances suivantes:
Centre de décontamination
Lavage des matières plastiques
Approvisionnement en combustible de l'atelier d'usinage
Eau des boues d'échange ionique
Laboratoires (activité forte et faible)
Douches d'urgence, etc.

→(A) (A)→ Indique le passage d'une source à un point de rejet

[S] Échantillonnage et contrôle des débits

[D] Décharge

Figure 3.2 Schéma d'un système type de transport de l'eau et des eaux usées dans une centrale CANDU

caloporteur qui est refroidi, elle est classée de type 2 puisqu'elle peut être polluée à l'occasion d'une fuite d'échangeur de chaleur. Les polluants peuvent être de l'huile (huile de lubrification des turbines, des compresseurs, des ventilateurs, etc.) ou de l'eau lourde tritiée provenant d'un modérateur CANDU.

Toutes les centrales produisent des eaux usées qui viennent de stations de traitement de l'eau (par ex. boues des clarificateurs ($Al_2(SO_4)_3$), des matières en suspension concentrées dans les filtres, des déchets acides et alcalins de déminéralisation (p. ex. H_2SO_4 et NaOH).

Les centrales à combustible fossile rejettent au cours de "purges" (par exemple la purge d'un système de recyclage) des polluants accumulés dans les chaudières. Les produits de purge contiennent des substances chimiques (par ex. phosphates, hydrazine, amines) utilisées pour maintenir l'eau des chaudières dans un milieu alcalin non corrosif, pauvre en oxygène. Dans les centrales nucléaires, on purge aussi les générateurs de vapeur. En plus de la purge normale, les chaudières et les générateurs de vapeur sont soumis à un nettoyage chimique avant d'être mis en route; ces nettoyages peuvent être repris périodiquement pendant la durée de service de la centrale. Les eaux de ces purges contiennent des métaux (par ex. du fer) provenant des tubes de la chaudière et du générateur de vapeur ainsi que des agents de nettoyage (par ex. acide citrique, acide chlorhydrique, phosphates, hydrazine, etc.). Les condenseurs et les échangeurs de chaleur peuvent aussi être soumis à des nettoyages chimiques périodiques pour enlever le tartre, le limon et les dépôts d'encrassement accumulés. Ces nettoyages peuvent produire des eaux usées acides ou alcalines. Notamment dans les systèmes de refroidissement par évaporation avec recyclage, on peut utiliser des produits chimiques en continu ou périodiquement en cours de fonctionnement pour réduire l'encrassement (par ex. du chlore), l'accumulation de limon (par ex. des polyélectrolytes) ou l'entartrage et la corrosion (par ex. du chromate de zinc). Toutes les centrales peuvent rejeter par accident des huiles ou des graisses dans les eaux usées (par ex. des huiles de lubrification, du combustible diesel pour les générateurs auxiliaires ou les pompes à incendie auxiliaires). Les centrales à combustible fossile peuvent rejeter par accident du mazout (par ex. du mazout léger pour l'allumage des chaudières au charbon). Toutes les centrales rejettent des eaux usées provenant de toilettes, de douches et parfois d'installations de buanderie.

En résumé, les eaux usées de traitement des centrales au charbon, au pétrole, au gaz et nucléaires qui peuvent avoir une incidence sur l'environnement comprennent:

- Les eaux usées alcalines et acides;
- Les boues de traitement des eaux;
- Les eaux de purge des chaudières/générateurs de vapeur contenant des additifs chimiques;
- Les déchets de nettoyage chimique des chaudières/générateurs de vapeur, des condenseurs, des échangeurs de chaleur;
- Les eaux usées contenant des huiles ou des graisses;
- Les eaux usées des installations sanitaires.

Les eaux usées reliées à la combustion du charbon peuvent aussi contenir un certain nombre d'éléments menaçants pour l'environnement:

Soufre (S)	Antimoine (Sb)	Plomb (Pb)	Strontium (Sr)
Chlore (Cl)	Arsenic (As)	Lithium (Li)	Thallium (Tl)
Fluor (F)	Baryum (Ba)	Manganèse (Mn)	Thorium (Th)
Phosphore (P)	Bore (B)	Mercure (Hg)	Titane (Ti)
Sodium (Na)	Cadmium (Cd)	Molybdène (Mo)	Uranium (U)
Calcium (Ca)	Chrome (Cr)	Nickel (Ni)	Vanadium (V)
Potassium (K)	Cobalt (Co)	Sélénium (Se)	Zinc (Zn)
Silicium (Si)	Cuivre (Cu)	Argent (Ag)	Zirconium (Zr)
	Fer (Fe)		

En plus de ces éléments, certains radionucléides naturels comme ceux qui sont reliés à la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium se retrouvent aussi dans le charbon.

Pendant la combustion du charbon, ces éléments se concentrent dans les cendres. Certains se fractionnent surtout dans les cendres de fond, dans les cendres volantes ou dans les gaz de carneau émis. Tous ces éléments contenus dans le charbon et introduits dans la centrale polluent l'eau utilisée pour le stockage du charbon, le transport des cendres et le nettoyage des gaz de carneau. On peut utiliser de l'eau pour laver périodiquement l'équipement en contact avec le charbon comme les convoyeurs à courroie, les pulvérisateurs, etc. Des eaux usées peuvent être produites par les systèmes de transport des cendres de fond, notamment s'il s'agit de systèmes sans recyclage. Si de l'eau est utilisée pour transporter les cendres volantes, il en résulte des eaux usées, notamment s'il s'agit d'un système à passage unique. Des systèmes de désulfuration des gaz de carneau peuvent produire des boues ainsi que des eaux usées de purge ou de vidange périodique de l'équipement. En plus des polluants contenus dans les gaz de carneau, ces eaux usées contiendront beaucoup de matières dissoutes associées au réactif utilisé dans les épurateurs pour éliminer le dioxyde de soufre. Les préchauffeurs d'air qui servent à chauffer l'air de combustion alimentant les chaudières à partir de la chaleur extraite des gaz de carneau sont lavés ou nettoyés chimiquement de façon périodique. Les parois des chaudières exposées aux flammes sont aussi lavées périodiquement. Les eaux usées qui en résultent contiennent des cendres polluées.

Dans les centrales nucléaires à eau lourde CANDU, la chaleur est produite par la fission de l'isotope d'uranium U-235 présent dans une proportion de 0,7 p. 100 dans l'uranium naturel U-238. Une circulation d'eau lourde (oxyde de deutérium) ralentit les neutrons pour déclencher les réactions de fission nucléaire. L'eau lourde sert aussi à transporter la chaleur du réacteur dans le générateur de vapeur. Les sources de radioactivité dans les eaux usées de ces centrales sont les produits de fission du réacteur et les produits d'activation (dus à la conversion d'un élément en un isotope radioactif par l'addition d'un neutron). Les centrales CANDU produisent les radionucléides suivants qui présentent un risque pour l'environnement:

Tritium (H 3)
Carbone 14 (C 14)
Chrome 51 (Cr 51)
Manganèse 54 (Mn 54)
Fer 59 (Fe 59)
Cobalt 58 (Co 58)
Cobalt 60 (Co 60)
Zinc 65 (Zn 65)
Zirconium 95 (Zr 95)
Argent 110 m (Ag 110 m)
Antimoine 124 (Sb 124)

Strontium 89 (Sr 89)
Strontium 90 (Sr 90)
Yttrium 91 (Y 91)
Zirconium 95 (Zr 95)
Niobium 95 (Nb 95)
Ruthénium 103 (Ru 103)
Ruthénium 106 (Ru 106)
Iode 129 (I 129)
Iode 131 (I 131)
Xénon 133 (Xe 133)

Césium 134 (Cs 134)
Césium 137 (Cs 137)
Lanthénum 140 (La 140)
Baryum 140 (Ba 140)
Cérium 141 (Ce 141)
Cérium 144 (Ce 144)
Praséodyme 143 (Pr 143)
Néodyme 147 (Nd 147)
Prométhium 149 (Pm 149)

Les radio-isotopes de la première colonne sont en général des produits d'activation, sauf le carbone 14 qui peut être produit par différentes réactions nucléaires déclenchées avec de l'oxygène 17 ou de l'azote 14. Le tritium (H 3), un isotope de l'hydrogène, est produit par l'activation du deutérium (H 2) présent dans l'eau lourde. D'autres produits d'activation proviennent de métaux présents dans les matériaux de construction des réacteurs (par ex. le cobalt 60) et de produits de corrosion (par ex. le fer 59). Presque tous les produits de fission sont retenus dans les grappes de combustible à l'intérieur du réacteur.

Tous ces radio-isotopes peuvent polluer l'eau lourde ou l'eau légère servant au fonctionnement et à l'entretien du réacteur. Dans les systèmes CANDU, à cause de la forte consommation d'eau lourde, on déploie beaucoup d'efforts aux stades de la conception et de l'exploitation pour minimiser les pertes d'eau lourde. On prend des mesures pour minimiser les fuites et pour séparer, recueillir et recycler l'eau lourde (par ex. on extrait l'eau légère des mélanges d'eau lourde et légère). Cependant, du tritium et, dans une moindre mesure, d'autres produits d'activation et de fission présents dans les fuites sont normalement rejetés dans les eaux usées des buanderies, des laboratoires, des douches et toilettes, du centre de détoxication, des drains du bâtiment du réacteur, etc. En cas de défaillance d'une grappe de combustible, des produits de fission s'échappent dans le circuit du caloporteur primaire. Un accident de réacteur, telle une perte de réfrigérant, pourrait produire des quantités considérables d'eaux usées radioactives qui contiendraient du tritium, d'autres produits d'activation et peut-être des produits de fission. Leur rejet possible dans l'environnement pose un problème particulier.

Dans toutes les centraies à vapeur, les précipitations (pluie ou neige) peuvent être polluées selon la matière avec laquelle elles entrent en contact. Par exemple, les précipitations peuvent entraîner des polluants à l'état de traces provenant des tas de charbon. Les matières dissoutes en suspension peuvent ruisseler dans les eaux de surface réceptrices et percoler sous le tas de charbon dans les eaux souterraines par infiltration. Les charbons riches en soufre produisent des eaux usées acides qui tendent à dissoudre les métaux dans une plus grande mesure que les charbons pauvres en soufre. Cependant, des polluants dont les effets préoccupent, comme le bore, se dissolvent également dans les eaux usées alcalines. Des problèmes semblables affligent les décharges recevant des déchets de désulfuration des cendres volantes, des cendres de fond et des gaz de carneau. Ces décharges sont d'ordinaire séparées de la centrale elle-même. En général, les cendres volantes, à cause de leur nature et à cause de l'aire considérable qu'elles occupent, donnent lieu à une lixiviation plus grande que les cendres de fond.

Des précipitations peuvent aussi capter des radionucléides provenant des sites de stockage des déchets de radioactivité faible ou moyenne des centrales nucléaires. Même si au cours des dernières années les déchets de faible radioactivité (chiffons, vêtements, pièces d'équipement, etc.) et les déchets de radioactivité moyenne (filtres sales, résines échangeuses d'ion, etc.) sont en général stockés dans des ouvrages en béton, il peut survenir une pollution des eaux souterraines ou des eaux de surface par des radionucléides.

Les eaux de drains du terrain et des drains de l'aire de manoeuvre sont captées dans des fossés qui se déversent dans les eaux de surface. Même si ces eaux usées sont normalement "propres", elles peuvent contenir des matières en suspension dues à l'érosion naturelle du terrain et peuvent parfois être polluées par suite de déversements accidentels de mazout, de produits chimiques, d'huile de transformateur, etc., et de l'envol de cendres et de poussière des tas de charbon.

Le volume et les caractéristiques des eaux usées sont fonction de la conception générale du système de circulation des eaux, conception qui dépend à son tour du type de centrale, des procédés de production, du régime des précipitations, etc. Le mode de fonctionnement et d'entretien de la centrale détermine les caractéristiques des eaux usées qui sont rejetées au cours de l'existence de la centrale. Les moyens d'évacuation des déchets solides détermineront les caractéristiques des eaux usées à la fin de la durée de service.

Pour donner une perspective des volumes relatifs des différentes eaux usées produites par les centrales à vapeur alimentées au charbon, au pétrole, au gaz et à l'énergie nucléaire, le tableau 3.1 présente des évaluations s'appliquant à des centrales à combustible fossile et des centrales nucléaires de 1000 MW.

Le cheminement des polluants et des substances toxiques contenus dans les eaux usées rejetées par les centrales à vapeur et leurs effets sur l'écosystème peuvent causer

Tableau 3.1
Évaluations des volumes annuels d'eaux usées de centrales à vapeur de 1000 MW

Volume d'eaux usées	Type de centrale
Volume très élevé (< 300 000 000 m^3/an)	
Eau de refroidissement auxiliaire	Nucléaire
Volume élevé (< 60 000 000 m^3/an)	
Eau de refroidissement auxiliaire	Fossile
Eau de refroidissement auxiliaire	Nucléaire autre que le réacteur
Purge, refroidissement par évaporation avec recyclage	Fossile et nucléaire
Effluents d'étangs à cendres sans recyclage	Charbon
Purge de système de traitement des cendres avec recyclage	Charbon
Percolation provenant des étangs à cendres	Charbon
Volume intermédiaire (< 800 000 m^3/an)	
Déchets de station d'épuration de l'eau	Fossile et nucléaire
Purge, chaudière/générateur de vapeur	Fossile et nucléaire
Eaux de lavage des préchauffeurs d'air	Charbon, pétrole
Eaux usées des installations sanitaires	Fossile et nucléaire
Ruissellement du parc de réservoirs de pétrole	Pétrole
Drains de toits et drains de terrain	Fossile et nucléaire
Ruissellement et percolation provenant des décharges de cendres sèches	Charbon
Ruissellement et percolation provenant des décharges de déchets de désulfuration des gaz de carneau	Charbon
Faible volume (< 100 000 m^3/an)	
Déchets de nettoyage des parois intérieures des chaudières	Fossile
Déchets de nettoyage des générateurs de vapeur	Nucléaire
Déchets de nettoyage des parois des chaudières exposées aux flammes	Fossile
Ruissellement et percolation provenant des tas de charbon	Charbon
Ruissellement et percolation provenant des aires de manoeuvre	Fossile et nucléaire
Eaux usées de désulfuration des gaz de carneau	Charbon, pétrole
Drains de laboratoire	Fossile et nucléaire
Eaux usées non radioactives de centrale à cycles combinés	Fossile et nucléaire
Eaux usées radioactives de centrales à cycles combinés	Nucléaire

des pollutions. Les rejets peuvent avoir des effets nocifs immédiats ou à long terme sur l'eau, les sédiments et le biote des eaux réceptrices ou sur la qualité des eaux souterraines. Les fluctuations du pH (acide et alcalin), de l'oxygène dissous, des matières en suspension et dissoutes dans l'eau peuvent nuire au développement des populations de poissons et des autres espèces aquatiques. Des polluants toxiques peuvent s'accumuler dans les sédiments aquatiques au voisinage des exutoires d'eaux usées. Des substances peuvent s'accumuler à des teneurs de plus en plus élevées à mesure que l'on s'élève dans la

hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire. Par exemple, des polluants peuvent être absorbés par les algues et les invertébrés, consommés par les poissons et accumulés dans les tissus des organismes jusqu'à des teneurs dépassant les teneurs de l'eau. Ces poissons peuvent ensuite être consommés par l'homme.

Les eaux usées rejetées dans des eaux réceptrices, superficielles ou souterraines, peuvent polluer l'eau de boisson consommée par l'homme, le bétail et la faune. L'eau réutilisée à d'autres fins (irrigation, procédés industriels, loisirs, etc.) peut aussi être polluée.

Le comportement et le volume des polluants rejetés dépendent, dans une certaine mesure, du milieu aquatique récepteur. Cependant, des mesures peuvent être prises à l'échelle nationale pour réduire ou éliminer le rejet de ces polluants et pour préserver la qualité de l'environnement. Ces mesures sont présentées en 4.2 et résumées au chapitre 5.

3.4 Surveillance

3.4.1 Description. - De nombreux paramètres de procédé sont surveillés périodiquement ou continuellement dans les centrales à vapeur. Ces paramètres comprennent notamment la température et la pression de vapeur, ainsi que le pH, l'oxygène dissous et la conductivité de l'eau. Voici les raisons qui justifient une telle surveillance:

1) Vérification des effets prévus ou inexistants sur l'environnement;
2) Prestation de renseignements pour établir des mesures correctives appropriées;
3) Conformité aux règlements.

Les paramètres qui présentent un intérêt pour l'environnement sont:

1) Débit, température et qualité de l'eau de refroidissement;
2) Caractéristiques biologiques de l'eau de refroidissement;
3) Débit des effluents chauds rejetés, teneurs en polluants et quantité totale de polluants rejetés;
4) Débit et qualité de l'eau à l'intérieur de la centrale;
5) Qualité et régime des eaux souterraines avant et après la période de service;
6) Température et régime d'écoulement des eaux de surface réceptrices, caractéristiques des sédiments et des organismes aquatiques, avant et après la période de service.

Les mesures de surveillance sont présentées en 4.3 et résumées au chapitre 5.

4 ÉLÉMENTS DE CONCEPTION ET MESURES RECOMMANDÉES

Les stratégies de protection de l'environnement adoptées dans le Code de la phase de conception pour les eaux de type 1 et de type 2 sont différentes. Pour l'eau de type 1, l'approche consiste à minimiser le piégeage des espèces aquatiques, à minimiser les dommages dus aux contraintes physiques, thermiques et chimiques imposées aux organismes vivants entraînés dans l'eau de refroidissement et à minimiser les effets nocifs des rejets d'effluents chauds. Pour l'eau de type 2, l'approche consiste à minimiser à la source le volume d'eau brute et la quantité de polluants, à recueillir les eaux usées et à épurer ces dernières au besoin. Ces mesures sont décrites dans les sections qui suivent.

4.1 Eau de refroidissement à passage unique (eau de type 1)

Les effets nocifs du système de refroidissement à passage unique (voir 3.2) peuvent être minimisés par l'utilisation de différentes méthodes au cours de la phase de conception du projet. Certains problèmes connexes peuvent être réglés au moment du choix de l'emplacement et pendant l'exploitation. Certaines recommandations du Code de la phase de conception relatives au refroidissement sans recyclage (à passage unique) comportent des lignes directrices chiffrées qui peuvent être appliquées à différentes eaux lorsque la situation s'y prête. Même si certaines techniques et méthodes particulières sont identifiées, la mise au point et la démonstration de modèles plus efficaces sur le plan écologique ne sont pas exclues.

La plupart des problèmes relatifs à l'entraînement, au piégeage et à l'acculement que l'on connaît avec les systèmes de refroidissement à passage unique peuvent être presque totalement éliminés au moyen de systèmes (tours ou étangs) de refroidissement par évaporation avec recyclage. Ces systèmes prélèvent moins de 5 p. 100 du volume d'eau requis par un système équivalent sans recyclage. Même si le refroidissement en circuit fermé est une technique éprouvée, il comporte certains inconvénients en termes de coûts et de complexité de fonctionnement et peut poser des problèmes sur le plan de l'environnement: volume relativement grand de produits chimiques rejetés (eau de type 2); brouillards; dérive des gouttelettes de brouillard; givrage; grandes surfaces des terrains et atteinte à une esthétique toujours difficile à cerner. Là où l'eau est abondante, un système de refroidissement à passage unique, ayant des caractéristiques de conception adaptées à l'environnement, peut présenter pour l'environnement aquatique une menace trop mince pour justifier la solution draconienne du refroidissement en circuit fermé.

Des recommandations pour le système de circulation de l'eau de type 1 (recommandations de la série 100) et un résumé des raisons qui les justifient et des moyens pour y donner suite sont présentés dans les sections qui suivent. **Trois approches principales** ont été adoptées dans la formulation des recommandations:

1) Minimisation du nombre d'organismes vivants piégés et entraînés (R101 à R109);
2) Minimisation des dommages causés aux organismes vivants piégés et entraînés (R110 à R112);
3) Minimisation des effets nocifs des effluents chauds (R113 à R116).

Même si certaines techniques et méthodes particulières sont identifiées dans les recommandations, cela n'exclut pas la mise au point d'autres modèles aussi efficaces sinon plus.

4.1.1 Recommandations, explications et éléments de conception

4.1.1.1 Prélèvement total d'eau de refroidissement

Recommandation R101

À moins qu'il soit démontré que des prélèvements plus grands ne sont pas plus dommageables pour l'environnement, le volume d'eau de refroidissement prélevé devrait être tel que:

1) Dans tous les plans d'eau, le prélèvement annuel total (de toutes sources) dans un rayon de 50 km des eaux littorales du lieu où est située une centrale ne dépasse pas 10 p. 100 du volume nominal normal dans ce rayon entre le 1er mai et le 31 août;
2) Dans les lacs et les réservoirs, le prélèvement annuel total (de toutes sources) ne dépasse pas 5 p. 100 du volume total du plan d'eau;
3) Dans les cours d'eau, le débit total de prélèvement (de toutes sources) dans un rayon de 50 km en amont de la centrale ne dépasse jamais 10 p. 100 du débit du cours d'eau dans ce rayon.

Explication

Les prélèvements dans la zone la plus active biologiquement (zone littorale) sont limités. Par conséquent, le nombre de poissons de tous âges susceptibles d'être piégés, acculés ou entraînés est sensiblement réduit. Dans les cours d'eau, une grande partie du débit échappe au prélèvement d'eau de refroidissement, de sorte que les espèces indigènes et migratrices sont protégées. En outre, la plus grande portion de la section transversale des cours d'eau est à l'abri des forts changements de température qui pourraient modifier l'habitat et la migration du poisson (voir R114).

Éléments de conception

1) Il est possible d'opter pour une petite centrale à faible débit, sans recyclage (à passage unique) et à prise d'eau en bordure de rive.
2) Il est possible de choisir un autre emplacement pour la centrale.
3) Il est possible de choisir un système de refroidissement avec recyclage (par ex. des tours ou des étangs de refroidissement par évaporation).
4) Il est possible de démontrer aux services de l'environnement qu'un prélèvement plus considérable n'est pas dangereux.
5) Une prise d'eau conçue en fonction du milieu, dont le canal d'amenée serait immergé, ne serait pas sujette à R101 (n^{o} 1) si le seuil d'entrée du canal était situé bien au-delà de la zone d'entrée littorale délimitée par la plus grande des profondeurs suivantes: isobathe de 10 m ou double de la valeur mesurée au disque de Secchi. Cependant, tout prélèvement en bordure de la rive devrait être évalué au moyen de modèles hydrauliques et sa valeur devrait être relativement petite par rapport à un prélèvement au large (voir aussi R105 et R107).

4.1.1.2 Prélèvement d'eau de refroidissement auxiliaire

Recommandation R102

Le système de circulation de l'eau de refroidissement auxiliaire dans les centrales à vapeur devrait être conçu de façon à:

1) Réduire le plus possible les prélèvements d'eau;
2) Permettre la réutilisation maximale de l'eau dans d'autres procédés de la centrale.

Explication
Les systèmes de refroidissement auxiliaire provoquent presque à coup sûr la mort des organismes vivants entraînés. Si les débits d'eau de refroidissement auxiliaire sont élevés, ils peuvent être une des causes principales de pertes d'ichthyoplancton. Toute mesure visant à diminuer les prélèvements d'eau de refroidissement auxiliaire (R102; 1) et d'eau industrielle (R102; 2) est encouragée.

Éléments de conception
1) L'eau de refroidissement auxiliaire évacuée peut servir à l'alimentation en eau douce des stations de traitement de l'eau brute et d'autres services qui peuvent ou doivent utiliser de l'eau chaude.
2) Un système de refroidissement par évaporation avec recyclage (par ex. tours ou étangs) pourrait être conçu de façon à réduire les besoins d'eau de refroidissement secondaire, si cela est justifié, suivant l'emplacement choisi pour la centrale.
3) D'autres moyens de réduction des besoins d'eau sont aussi examinés dans les recommandations R204, R205 et R206.

4.1.1.3 Système de pompage de l'eau de refroidissement
Recommandation R103
Il faudrait étudier les possibilités de régularisation et de réglage des débits d'eau de refroidissement dans chaque condenseur en combinant adéquatement nombre et capacité des pompes d'alimentation en eau de refroidissement et en prévoyant des dispositifs de réglage.

Explication
Les dispositifs de réglage permettent de minimiser les volumes d'eau de refroidissement pendant les périodes correspondant à de fortes concentrations de larves ou à d'autres stades de développement du poisson. Il est possible, dans une certaine mesure, de régler les besoins d'eau de refroidissement des condenseurs et des échangeurs de chaleur ainsi que les écarts de température.

Éléments de conception
1) Il est possible de prévoir un plus grand nombre de pompes de moindre capacité (par ex. quatre pompes au lieu de deux par groupe de production).
2) Des robinets-vannes peuvent être prévus à la sortie des pompes ou des condenseurs.
Ces moyens de réglage des débits réduisent la puissance de pompage nécessaire pour produire la quantité nominale d'électricité lorsque la température de l'eau brute est inférieure à la valeur nominale.

4.1.1.4 Arrêts de production
Recommandation R104
Dans la mesure du possible, il faudrait faire coïncider les arrêts de production avec les périodes où l'ichthyoplancton (oeufs et larves de poisson) est le plus susceptible d'être entraîné.

Explication
En éliminant tout entraînement pendant les courtes périodes de fortes concentrations d'ichthyoplancton, on peut réduire sensiblement les pertes annuelles par entraînement. En outre, l'effet des panaches thermiques pendant les périodes de fortes densités de poissons dans les eaux réceptrices sera minimisé. Les entreprises d'électricité peuvent dans une certaine mesure jouer sur les arrêts de chacune de leurs centrales à vapeur, surtout au printemps et à l'été lorsque la demande totale est inférieure à celle de la période d'hiver.

Éléments de conception
1) Les variations saisonnières au sein du milieu d'alimentation en eau brute devraient être établies (voir R113).
2) La production totale pour répondre à la demande devrait être répartie de façon que les centrales les plus menaçantes pour les organismes entraînés soient à l'arrêt pendant les périodes critiques.

L'emplacement à bonne distance de la rive de l'entrée du canal d'amenée peut réduire la probabilité d'entraînement de l'ichthyoplancton (voir R105).

4.1.1.5 Emplacement de l'ouvrage de prise d'eau
Recommandation R105
Les seuils d'entrée des canaux d'amenée devraient être situés au large, au-delà de la zone littorale, à moins qu'il soit démontré que leur emplacement en bordure de la rive est biologiquement préférable.

Explication
Les prélèvements d'eau dans la zone la plus active biologiquement (par exemple la zone littorale) sont réduits. La construction d'ouvrages en saillie ou en retrait, en bordure de la rive, est évitée; ces ouvrages amènent d'énormes concentrations de larves et font obstacle au déplacement des poissons (voir R108).

Éléments de conception
1) Le seuil d'entrée du canal d'amenée devrait être situé au large, au-delà de la zone littorale.
2) L'aménagement d'une tranchée pour un canal d'amenée dont le seuil d'entrée se situe au-delà de l'isobathe de 10 mètres n'est pas recommandé car une telle tranchée peut attirer les poissons. En outre, le seuil d'entrée de la prise devrait être situé assez loin au large pour être surélevé par rapport au fond naturel du plan d'eau (R107).
3) On peut démontrer aux services de l'environnement qu'une prise dont le seuil d'entrée est en bordure de rive n'est pas plus dommageable.

Une prise bien conçue, avec seuil d'entrée situé au large, diminuera considérablement le piégeage et l'entraînement qui sont associés aux systèmes de refroidissement sans recyclage (voir aussi R109).

4.1.1.6 Point d'amenée par rapport au point de restitution
Recommandation R106
À moins qu'il soit démontré qu'une disposition différente n'est pas plus menaçante pour l'environnement, le seuil d'entrée de la prise d'eau de refroidissement devrait être situé par rapport au point de restitution de façon que:
1) Le seuil du canal d'amenée soit en amont et à une distance suffisante de la sortie du canal de restitution ou qu'il soit à une profondeur suffisante pour éviter ou minimiser le déplacement non contrôlé, au sein des eaux réceptrices, de l'effluent chaud restitué jusqu'au seuil du canal d'amenée;
2) Si une longue voie d'eau double est nécessaire sur terre pour séparer l'entrée de la prise et la sortie de restitution, le bras le plus long devrait être le canal d'amenée, c'est-à-dire celui qui se trouve du côté de l'entrée de la prise, et le bras le plus court devrait être le canal de restitution, c'est-à-dire celui qui se trouve du côté de l'exutoire.

Explication
Le déplacement non contrôlé de l'effluent chaud depuis la sortie de restitution jusqu'à l'entrée de la prise favorise le piégeage, l'acculement et l'entraînement des poissons qui

sont attirés par la chaleur de l'eau restituée. Un canal de restitution relativement court diminue le temps d'exposition des poissons entraînés aux hautes températures du bief aval, c'est-à-dire de la portion des eaux réceptrices située en aval du condenseur.

Éléments de conception
1) Les courants d'eau doivent être pris en considération lorsque l'on doit choisir les emplacements pour l'entrée de la prise et la sortie de restitution.
2) Si d'autres configurations amenée/restitution sont possibles, il est préférable d'opter pour un canal de restitution le plus court possible (sous réserve des exigences de R115). Un retour non contrôlé d'eau restituée diminue aussi l'efficacité thermique du cycle de vapeur.

4.1.1.7 Conception du seuil d'entrée de la prise d'eau

Recommandation R107
La prise d'eau de refroidissement devrait être conçue de façon à empêcher ou décourager le poisson de se laisser piéger dans le courant d'eau. Il faudrait démontrer que le modèle retenu pour les seuils d'entrée immergés au large minimise autant le piégeage du poisson que le modèle dit du chapeau hydrodynamique, qui a déjà été éprouvé en situation réelle.

Explication
Certaines caractéristiques d'un modèle d'entrée peuvent réduire la probabilité de piégeage du poisson. Par exemple, le poisson décèle et évite plus facilement les courants horizontaux que les courants verticaux. Certaines espèces évitent certaines profondeurs d'eau et certaines hauteurs au-dessus du fond.

Éléments de conception
1) Un seuil d'entrée immergé au large peut être muni d'un chapeau hydrodynamique qui induit un écoulement horizontal dans l'ouverture. Le seuil du canal peut être placé à une profondeur telle que le radier du canal se trouve surélevé par rapport au fond du lac, du cours d'eau ou de l'océan de façon à éviter le piégeage des organismes benthiques. (Un seuil de canal enfoncé dans une tranchée aurait tendance à aspirer et à piéger le poisson et induirait des courants verticaux à l'ouverture.)
2) D'autres dispositifs pourraient être aussi efficaces que le chapeau hydrodynamique. Par exemple, les seuils à plaques poreuses semblent prometteurs. Des efforts de recherche et de développement se poursuivent sur différents dispositifs de perturbation du comportement du poisson: filets, lampes stroboscopiques, dispositifs sonores pneumatiques (*poppers*), barrières de bulles, etc. Cependant, les essais menés jusqu'à ce jour n'ont pas démontré que ces dispositifs réussissent systématiquement à empêcher le piégeage du poisson.

Comme il arrive que des centrales doivent arrêter leur production lorsque les filtres des entrées sont bloqués par des poissons qui y sont acculés, les modèles d'entrée qui minimisent le piégeage du poisson présentent des avantages tant sur le plan du fonctionnement des centrales que sur le plan de l'environnement.

4.1.1.8 Disposition des seuils d'entrée en bordure de rive

Recommandation R108
Lorsque les seuils d'entrée se situent en bordure de rive, il faudrait s'assurer que la ligne de rive soit le moins possible déformée par des ouvrages en saillie ou en retrait et que les grilles des seuils d'entrée soient le plus possible placées en bordure de rive.

Explication
Les poissons ont tendance à se rassembler le long des avancées et des rentrées de la rive. Les effets combinés d'une configuration en dents de scie et des courants d'aspiration aux abords de l'entrée peuvent être tels que les poissons ne puissent s'échapper par la nage.

Éléments de conception
Cette recommandation s'applique dans les cas où il est démontré que des entrées au large ne sont pas nécessaires (voir R101 et R105).
1) L'entrée devrait être située en bordure d'une section de rive non accidentée, où il est peu probable que le poisson se rassemble.
2) Il ne faudrait pas aménager les canaux d'amenée en avançant des épis parallèles vers le large.
3) S'il faut creuser des canaux dans les terres, l'entrée en bordure de rive devrait être munie de grilles et ne devrait pas être bordée de jetées ou de digues qui s'avancent dans l'eau.

4.1.1.9 Vitesse et direction de l'écoulement dans la prise et dérivation des poissons
Recommandation R109
Les prises d'eau des systèmes de refroidissement à passage unique devraient avoir les caractéristiques suivantes:
1) Toutes les prises d'eau devraient comporter des voies efficaces de dérivation et de retour des poissons à moins qu'il soit démontré qu'il est peu probable qu'un nombre considérable de poissons soit entraîné dans le courant de l'eau aspirée;
2) Les prises d'eau exemptes de voies de dérivation des poissons au début de la construction, à cause d'une faible probabilité qu'un grand nombre de poissons soit acculé contre les grilles, devraient avoir les caractéristiques suivantes:
a) Vitesse d'écoulement uniforme inférieure à 15 cm/s aux abords des grilles;
b) Aucun écoulement vertical dans le canal d'amenée ou dans les puits-grilles;
c) Disposition en vue de l'installation éventuelle d'ouvrages de dérivation plus tard.

Explication
Les poissons piégés dans l'entrée et dans le canal d'amenée peuvent habituellement remonter un courant de 15 cm/s et retourner en eaux libres sans subir de dommage. Les poissons détectent plus facilement les courants horizontaux que les courants verticaux et pourraient normalement résister à l'acculement contre les grilles par des courants horizontaux faibles.

Éléments de conception
Il existe un grand nombre de moyens pour faire en sorte que les poissons échappent à l'entraînement, soient dérivés, recueillis et restitués.
1) Sur des persiennes verticales, des grilles mobiles verticales (ou horizontales) ordinaires, réglées obliquement par rapport au courant incident, les poissons peuvent glisser et retourner en eaux libres.
2) Les courants incidents sur les grilles devraient être horizontaux (non verticaux) et ne devraient pas dépasser 15 cm/s, car les poissons peuvent remonter de tels courants. La forme ainsi que la section transversale du canal devraient être conçues en conséquence.
3) Certaines grilles mobiles sont munies de jets basse pression et d'un bac pour recueillir le poisson.
4) Des grilles à mailles fines préviendront l'entraînement des petits organismes.
5) Les systèmes de restitution des poissons comportent les éléments suivants: pompes, élévateurs, filets de levage, goulottes et canaux.

6) Si une voie de dérivation des poissons n'est pas nécessaire; il faudrait prévoir dans le canal d'amenée un moyen d'ajouter au besoin un dispositif de dérivation.

4.1.1.10 Choix des pompes à eau de refroidissement
Recommandation R110
Il faudrait envisager des moyens de minimiser les contraintes mécaniques exercées sur les organismes aquatiques entraînés, dans le choix des pompes à eau de refroidissement.

Explication
Des organismes entraînés peuvent subir des dommages considérables lorsqu'ils traversent les pompes à eau de refroidissement. Ces dommages peuvent être causés par de brusques alternances de dépressions et de pressions, des forces d'accélération, de la turbulence et du cisaillement dans l'aubage des pompes.

Éléments de conception
Même s'il peut arriver que des pompes relativement peu dangereuses n'aient pas été éprouvées dans des systèmes d'eau de refroidissement de centrales à vapeur, on encourage la recherche, le développement et les essais dans ce domaine. En plus du rendement, des caractéristiques, etc., hydrauliques des pompes, le concepteur devrait étudier:
1) D'autres types de pompes en fonction des conditions d'écoulement et de pression;
2) Des pompes de différentes capacités, de différentes vitesses et en nombres différents.

4.1.1.11 Lutte contre le bio-encrassement
Recommandation R111
Pour lutter contre le bio-encrassement des parois des ouvrages du système de refroidissement des condenseurs à passage unique:
1) Il ne faudrait utiliser des produits chimiques que s'il a été démontré que leur usage était nécessaire;
2) S'il a été démontré qu'il faut utiliser du chlore:
a) Il ne faudrait utiliser que la quantité minimale requise;
b) La teneur maximale en chlore résiduel total à la sortie du condenseur soumis à la chloration ne devrait pas dépasser 0,5 mg/l;
c) Les additions de chlore devraient être intermittentes et le point d'injection devrait être situé immédiatement en amont des condenseurs et des refroidisseurs auxiliaires, à moins qu'il n'ait été démontré qu'une chloration continue ou un autre point d'injection est nécessaire pour combattre l'encrassement. Cependant, il ne faudrait en aucun temps introduire le chlore en amont des grilles mobiles;
d) Pas plus d'un condenseur et d'un ensemble de refroidisseurs auxiliaires ne devraient être soumis en même temps à une addition de chlore, laquelle devrait être faite de jour.

Explication
Le chlore a presque toujours des effets létaux ou sublétaux sur les organismes entraînés et peut produire des composés cancérigènes dans les eaux réceptrices. La recommandation vise à éviter le chlore ou à réduire la dose, la teneur et la fréquence nécessaires. Il est interdit d'injecter du chlore dans la portion la plus sensible (c'est-à-dire dans le canal d'amenée). Comme l'injection de chlore près du condenseur ou des échangeurs de chaleur minimisera les pertes de chlore résiduel avant le contact entre ce dernier et les organismes qui encrassent le plus, la quantité de chlore additionnée sera moindre.

Éléments de conception
Il est possible qu'on n'ait pas à lutter contre le bio-encrassement; cependant, si cette lutte s'impose:
1) On peut utiliser des dispositifs de nettoyage mécanique (brosses ou boules) pendant le fonctionnement ou l'arrêt de la centrale, pour nettoyer les tubes des condenseurs, éliminant ainsi la nécessité de recourir à des biocides;
2) On peut nettoyer chimiquement ou mécaniquement les condenseurs et les échangeurs de chaleur pendant un arrêt de la centrale (avec des résidus de nettoyage chimiques recueillis et traités avant d'être rejetés).
S'il faut utiliser le biocide le plus courant, le chlore:
1) On peut minimiser la quantité utilisée au moyen d'un système d'injection et de contrôle conçu de façon que le chlore soit injecté immédiatement en amont du condenseur et que la teneur en chlore résiduel total soit mesurée à la sortie de chaque condenseur, permettant ainsi de régler le débit d'addition de chlore, et au moyen de papier indicateur permettant de contrôler l'efficacité des produits chimiques;
2) Un système de déchloration devrait être prévu (par ex. addition de dioxide de soufre ou de sulfite de sodium) si, pour des raisons de production, la décharge de chaque condenseur a une teneur en chlore résiduel total supérieure à 0,5 mg/l;
3) Il est plus facile d'abaisser chimiquement la teneur en chlore résiduel du milieu récepteur le jour, grâce aux rayonnements ultraviolets.

Même si le chlore est l'agent le plus répandu pour réduire l'encrassement, on peut utiliser d'autres biocides. En outre, même si la chloration intermittente convient en général pour réduire l'encrassement dans le cas de l'eau douce, il peut arriver qu'il faille recourir à la chloration continue pour éliminer les moules et les anatifes dans l'eau de mer chaude. Les recommandations concernant les biocides autres que le chlore et concernant l'addition continue de chlore et d'autres biocides sont reportées.

4.1.1.12 Lutte contre la corrosion, l'entartrage et l'envasement

Recommandation R112
Pour combattre la corrosion, l'entartrage et l'envasement dans les systèmes de refroidissement à passage unique ou partiellement ouverts:
1) On ne devrait pas additionner des produits chimiques en continu à moins qu'il ait été démontré que ces produits chimiques doivent être utilisés ou ne présentent aucun danger pour l'environnement;
2) S'il a été démontré que des produits chimiques doivent être additionnés en continu, mais qu'il est impossible de prouver que de tels produits ne présentent aucun danger pour l'environnement, les doses et la méthode d'addition devraient être telles qu'on n'utilise que la quantité minimale requise;
3) Il faudrait confiner les solutions de nettoyage usées provenant du nettoyage chimique intermittent des condenseurs et les épurer avant de les rejeter.

Explication
La recommandation vise à éliminer, ou au moins à réduire, les rejets de substances nocives dans l'eau de refroidissement et le milieu récepteur.

Éléments de conception
Il est possible qu'on n'ait pas à combattre la corrosion, l'entartrage et l'envasement, mais si ces problèmes se posent:
1) On peut utiliser un dispositif de protection cathodique pour combattre la corrosion des enveloppes et des tubes des condenseurs et des autres interfaces de natures galvaniques différentes qui sont sujets à la corrosion;

2) On peut utiliser des dispositifs de nettoyage mécanique continu ou intermittent pour combattre l'entartrage et l'envasement des condenseurs;
3) On peut nettoyer chimiquement les condenseurs et les échangeurs de chaleur pendant les arrêts de la centrale (au moyen de résidus récupérés et traités);
4) Il est possible de démontrer que les produits chimiques proposés pour une utilisation continue ne présentent aucun danger pour l'environnement;
5) On peut prévoir des systèmes d'injection et de contrôle de produits chimiques et de surveillance des métaux pour minimiser l'utilisation des produits chimiques.

On utilise un grand nombre de produits chimiques pour combattre la corrosion, l'entartrage et l'envasement, de sorte qu'il pourrait être justifié dans l'avenir de faire des recommandations concernant certains produits chimiques.

4.1.1.13 Température à la sortie des condenseurs

Recommandation R113

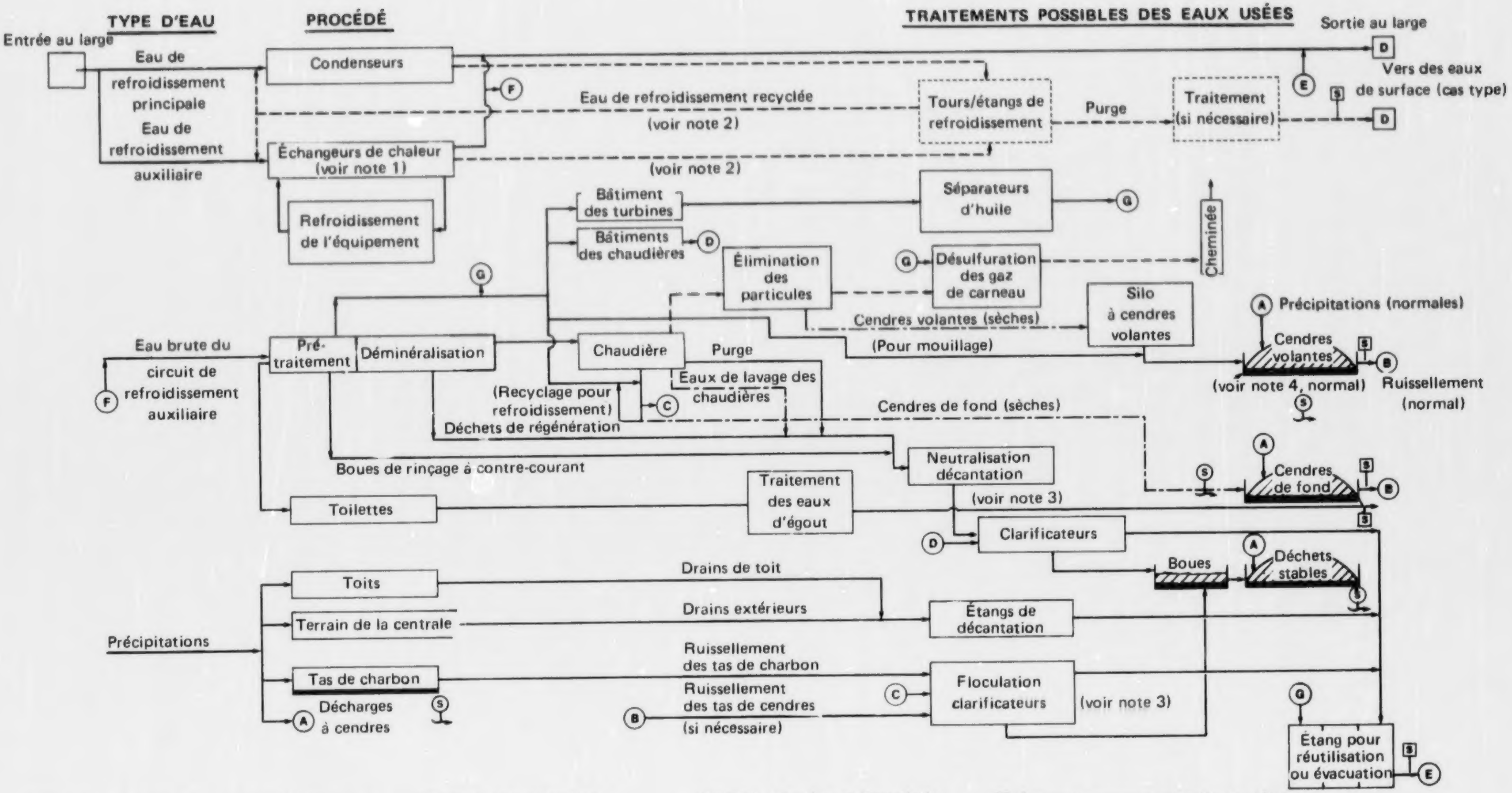
1) La température à la sortie de chaque condenseur devrait être maintenue la plus élevée possible sans avoir d'effet létal sur des espèces de poissons importantes et représentatives qui sont entraînées. Il est admis qu'une température de 2 °C inférieure à la température létale médiane n'est pas létale;
2) Lorsqu'il est démontré que la majorité ou la totalité de l'ichthyoplancton entraîné (oeufs et larves de poissons) des espèces importantes et représentatives périssent à la suite de contraintes physiques ou d'une exposition à des produits chimiques, les limites de température définies au paragraphe précédent devraient être levées et le système devrait être exploité de façon que la température de l'eau à la sortie de chaque condenseur soit maintenue la plus haute qu'il est possible techniquement;
3) Il faudrait établir une courbe des températures annuelles admissibles qui soit en accord avec les deux paragraphes précédents pour chaque station, en tenant compte des changements saisonniers chez les espèces en cause.

Explication

En maintenant l'eau des condenseurs à 2 °C sous la température létale pour les espèces en cause, on minimise le volume d'eau brute prélevé tout en s'assurant que les poissons entraînés ne périssent pas à cause d'une température élevée. Cependant, si les poissons sont tués par des contraintes physiques ou chimiques (malgré l'application des recommandations pertinentes), on peut minimiser le nombre d'espèces entraînées (et par conséquent la mortalité) en diminuant les volumes d'eau brute prélevée (et en élevant les températures). En établissant une courbe annuelle des températures maximales admissibles pour les effluents des condenseurs, on tient compte des tendances à court terme et saisonnières dans la susceptibilité et la vulnérabilité des espèces. Il faudrait que cette courbe soit reconnue par l'exploitant et l'organisme de réglementation, et qu'une marche à suivre appropriée, selon laquelle une partie des responsabilités incomberait à l'organisme de réglementation, soit établie.

Éléments de conception

1) Établir les caractéristiques saisonnières du biote aquatique à l'emplacement projeté pour l'entrée de la prise ou à un emplacement équivalent (voir R307).
2) Déterminer les températures létales pour les différentes espèces.
3) Définir et obtenir la participation de l'organisme de réglementation pour établir les températures maximales admissibles de l'eau à la sortie des condenseurs pour une période de douze mois consécutifs en vue de protéger les "espèces de poissons importantes et représentatives".



NOTE 1: Circuit secondaire de refroidissement avec échangeur de chaleur et recyclage.

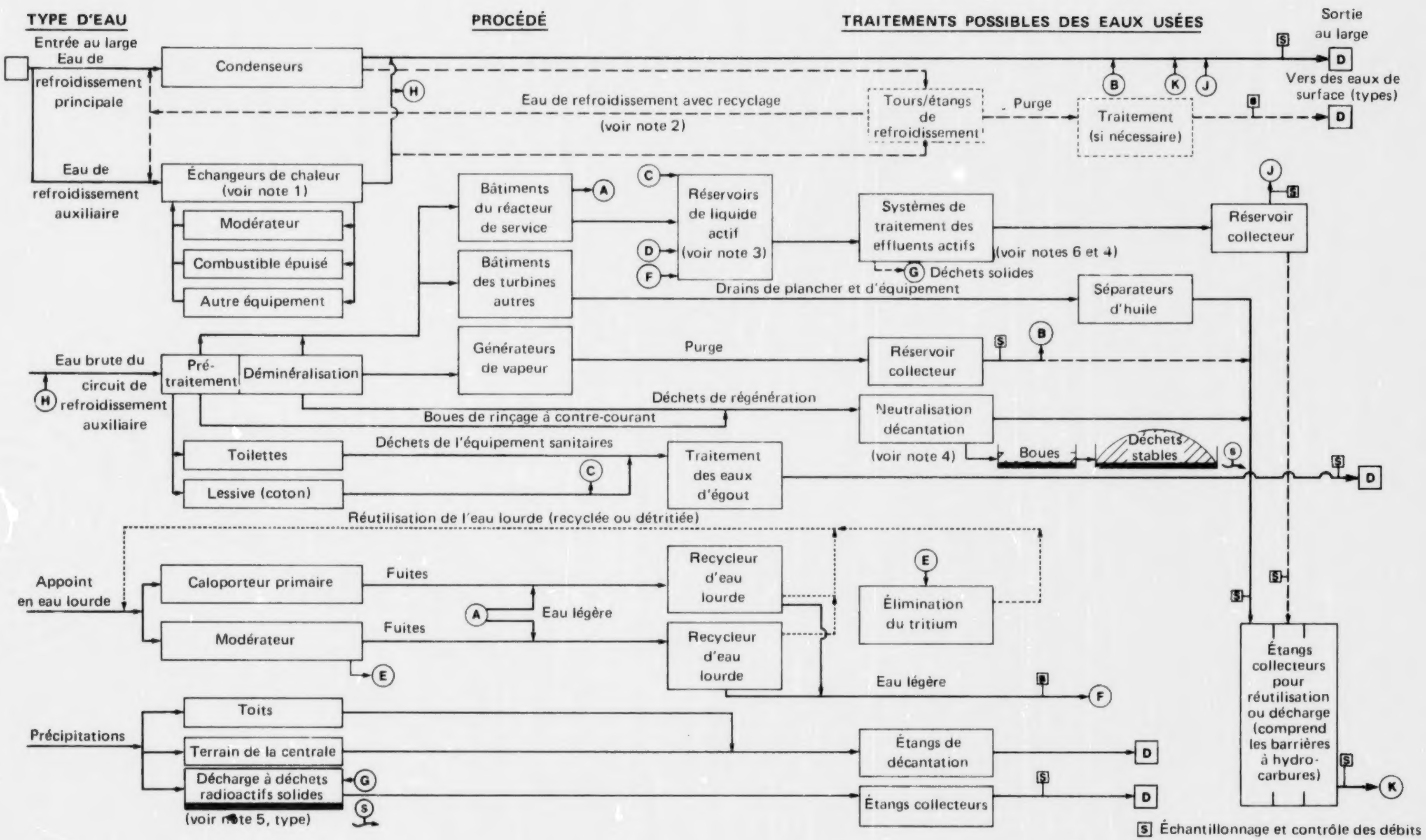
NOTE 2: Circuit facultatif de refroidissement par évaporation avec recyclage. Un circuit sans recyclage est plus probable, tel qu'indiqué.

NOTE 3: Débit équilibré avant tout traitement et possibilité de recyclage après traitement (non indiqué).

NOTE 4: Barrière antipercolation pour tas de charbon, décharges à cendres et à boues. Percolation minimisée non indiquée.

S Échantillonnage et contrôle du débit
S Échantillonneurs d'eaux souterraines
Barrière antipercolation
D Décharge
→A Indique le passage d'une source à un point de rejet

Figure 4.1 Schéma d'un système de traitement de l'eau et des eaux usées pour une centrale au charbon



NOTE 1: Circuit secondaire de refroidissement avec échangeurs de chaleur et recyclage.

NOTE 2: Circuit facultatif de refroidissement par évaporation avec recyclage. Un circuit sans recyclage est plus probable, tel qu'indiqué.

NOTE 3: (D) Les déchets déversés dans les réservoirs du liquide actif comprennent aussi les déchets du centre de décontamination, les eaux de lessive du matériel en plastique, les déchets de l'atelier de combustibles, les boues des échangeurs d'ions. Les déchets de laboratoire (fortement et faiblement radioactifs), les eaux des douches d'urgence, etc.

NOTE 4: Débit équilibré avant tout traitement et possibilité de recyclage après traitement (non indiqué).

NOTE 5: Percolation minimisée, non indiquée.

NOTE 6: Possibilité d'évaporation/bituminisation.

S Échantillonnage et contrôle des débits
(S) Échantillonneurs d'eau souterraine
Barrières antipercolation
D Décharge
→(A) (A)→ Indique le passage d'une source à un point de rejet

Figure 4.2 Schéma d'un système de traitement de l'eau et des eaux usées pour une centrale CANDU

4) En première approximation seulement, à défaut de données définitives sur les espèces en un endroit donné ou d'une entente sur la définition des espèces "représentatives" et "importantes", une règle des températures annuelles qui protégerait les espèces d'eau douce les plus communes comporterait les limites supérieures de température suivantes: 30 °C en été (là où la température moyenne de l'eau à l'entrée de la prise est supérieure à 10 °C); 22 °C en hiver (là où la température moyenne de l'eau à l'entrée de la prise est inférieure à 5 °C). La recommandation R113 (n° 2) suppose que, pour maintenir la température de l'eau à la sortie du condenseur la plus haute qu'il est possible techniquement, des mesures adéquates doivent avoir été prévues dans la conception pour minimiser les effets nocifs des effluents chauds dans les eaux réceptrices (voir les recommandations R114 et R115).

4.1.1.14 Aire occupée par le panache thermique

Recommandation R114

À moins qu'il soit démontré qu'une aire plus grande ne présente pas plus de danger pour l'environnement, le panache thermique (tel que défini par l'isotherme de 1 °C) d'une centrale ne devrait pas, lorsque combiné aux panaches thermiques d'autres sources:

1) Occuper vis-à-vis du segment de rive de 50 km dont le milieu correspond à l'emplacement de la centrale une aire d'une superficie supérieure à 10 p. 100 de la superficie totale de la zone littorale située vis-à-vis de ce segment de rive, sauf s'il s'agit d'un cours d'eau;
2) Occuper vis-à-vis du segment de rive de 50 km situé en aval de la centrale une aire d'une superficie supérieure à 10 p. 100 de la superficie totale de la zone littorale située vis-à-vis de ce segment de rive lorsqu'il s'agit d'un cours d'eau;
3) Occuper une aire d'une superficie supérieure à 10 p. 100 de la superficie totale d'un petit lac ou d'un réservoir;
4) Occuper une aire d'une configuration telle qu'elle déborde, en quelque point que ce soit, la moitié de la largeur d'un cours d'eau, d'un lac ou d'un réservoir.

Explication

La présente recommandation protège la majorité des zones littorales des grands et petits bassins d'eau douce, des bassins d'eau salée et des cours d'eau. Elle garantit que les zones littorales demeureront disponibles pour une reproduction biologique normale, à l'abri des effluents chauds, et que le poisson pourra se déplacer assez librement.

Éléments de conception

1) L'exutoire, c.-à-d. le point de restitution, peut être situé au large, au-delà de la zone littorale, et des modèles hydrauliques peuvent être mis au point pour prévoir la diffusion du panache thermique.
2) On peut utiliser des diffuseurs ou d'autres modèles de sortie du canal de restitution pour réduire rapidement la température à proximité de la sortie.
3) On peut opter pour une centrale plus petite avec refroidissement à passage unique.
4) On peut choisir un système de refroidissement par évaporation avec recyclage.

4.1.1.15 Emplacement et modèle de l'ouvrage de restitution

Recommandation R115

En ce qui concerne l'ouvrage de restitution, à moins qu'il soit démontré qu'un autre emplacement ou d'autres modèles ne comportent pas plus de danger pour l'environnement:

1) L'eau d'un système de refroidissement à passage unique devrait être rejetée à bonne distance de la rive et être dirigée de façon qu'elle s'éloigne de la rive;

2) L'ouvrage de transport de l'eau de refroidissement, de la centrale au point de sortie dans le plan d'eau récepteur, devrait être une galerie souterraine ou une conduite sous-marine enfouie.

Explication
La localisation au large du point de sortie des effluents chauds minimise l'altération de la zone littorale et préserve sa vocation biologique normale. Il diminue la possibilité que le panache thermique soit refoulé vers la rive et se déplace le long de celle-ci et sur le fond de la zone littorale. L'aménagement et l'utilisation de galeries souterraines pour transporter l'eau chaude au large ne perturberont pas la faune aquatique. Ils ne feront pas obstacle au déplacement des poissons qui autrement auraient tendance à se rassembler après la construction. Une galerie souterraine est préférable à une conduite déposée sur le fond ou dans une tranchée, ou encore à des épis parallèles.

Éléments de conception
Plusieurs facteurs influent sur la conception de l'émissaire.
1) Une faible vitesse d'évacuation permettra à l'effluent chaud de monter à la surface et de former un mince panache en surface. Une vitesse élevée d'évacuation entraînera une plus grande quantité d'eau locale, donnant lieu à une réduction de température plus rapide mais à une aire d'influence plus étendue.
2) Les effluents rejetés loin de la rive diminueront la tendance du panache à revenir vers la rive sous l'action du vent et des courants, dans la zone littorale.
3) Des diffuseurs à plusieurs bouches augmentent la vitesse de diffusion de la chaleur, mais entraîne un plus grand étalement horizontal du panache avec une forte probabilité que le panache revienne vers la rive.
4) L'installation d'une conduite sous-marine posée sur le fond ou dans une tranchée, ou encore l'aménagement d'épis parallèles pour acheminer les effluents chauds jusqu'à une sortie de restitution au large perturbera le milieu benthique et favorisera la dispersion et le dépôt de limon pendant la construction. L'installation d'une conduite sur le fond et l'aménagement d'épis modifieront également en permanence les déplacements et la répartition des poissons, les courants et la sédimentation. La construction d'une galerie souterraine n'aurait aucun de ces effets nuisibles.

4.1.1.16 Système de refroidissement supplémentaire
Recommandation R116
Aucun système de refroidissement auxiliaire ou supplémentaire ne devrait être relié aux ouvrages de restitution des systèmes de refroidissement à passage unique, à moins qu'il soit démontré que leur utilisation fera baisser la mortalité chez les organismes aquatiques entraînés dans l'eau de refroidissement et dans le panache thermique.

Explication
L'utilisation de systèmes de refroidissement auxiliaire ou supplémentaire (tours/étangs ou pompes à tempérer) pour refroidir l'eau à la sortie des condenseurs et des systèmes de refroidissement auxiliaire abaissera la température de l'effluent au point de restitution. Cependant, si les organismes vivants entraînés dans l'eau de refroidissement ont déjà péri sous l'effet d'une température élevée, l'utilisation de pompes à tempérer ne fera qu'augmenter l'entraînement et l'endommagement des organismes aquatiques. L'utilisation de tours ou d'étangs de refroidissement pour une partie ou la totalité de l'eau de refroidissement à passage unique ne fera qu'augmenter les dommages causés aux quelques organismes entraînés qui auront survécu. Une température à la sortie des condenseurs qui

ne présente aucun danger pour les organismes entraînés (R113; 1 et 3) ainsi qu'un emplacement et un modèle d'émissaire appropriés (R114, R115) élimineront la nécessité d'un système auxiliaire pour protéger les eaux réceptrices.

Éléments de conception
1) Ne pas utiliser des pompes à tempérer; le système de refroidissement devrait être conçu de façon que la température soit adéquate.
2) Il peut être démontré aux services de l'environnement que l'utilisation de ces pompes présente moins de dangers que d'autres techniques visant à réduire les dommages causés aux espèces aquatiques.

4.1.2 Conséquences générales des recommandations. - Les seize recommandations concernant la conception des systèmes de refroidissement à passage unique (c.-à-d. sans recyclage) ne devraient pas être considérées séparément, car plusieurs sont liées les unes aux autres. Globalement, elles visent à réduire au minimum le piégeage et l'entraînement, les dommages causés aux organismes vivants entraînés et les effets thermiques nuisibles. Les principaux éléments de conception possibles sont:
1) Une entrée de prise d'eau située à bonne distance de la rive et munie d'un chapeau hydrodynamique (R105 et R107);
2) Une sortie de restitution d'eau située à distance de la rive et munie d'un diffuseur (R115);
3) Une voie de dérivation et de retour du poisson (R109);
4) Un nettoyage mécanique des condenseurs et des échangeurs de chaleur (R111, R112).

La plupart des autres recommandations peuvent être mises en pratique sans influer beaucoup sur la conception, l'exploitation ou les coûts.

Une fois que les mesures de conception de la série 100 seront prises, on s'attend que les effets sur l'exploitation seront minimes. Toute attention supplémentaire, si besoin est, devra être accordée à l'exploitation et à l'entretien, sauf pour certains dispositifs de dérivation du poisson. En fait, des installations respectueuses de l'environnement réduiront la probabilité des arrêts forcés, diminueront les pertes de rendement thermique en minimisant la recirculation des effluents chauds et réduiront les coûts de pompage en hiver.

On prévoit que l'accroissement des besoins énergétiques dû à la mise en pratique des recommandations de la série 100 sera minime par rapport à l'ensemble des besoins en énergie d'une centrale.

Les recommandations ayant trait à la surveillance des systèmes de refroidissement à passage unique sont présentées en 4.3. Les répercussions financières sont résumées au chapitre 6.

4.2 Eaux usées (eau de type 2)

Même si les recommandations fournissent des moyens de protéger l'environnement, elles n'excluent pas la mise au point et l'application d'autres techniques et pratiques de protection aussi ou plus efficaces.

4.2.1 Recommandations, explications et éléments de conception. - La plupart, sinon la totalité, des problèmes environnementaux reliés à l'eau que posent les eaux usées des centrales, comme il est décrit en 3.3, pourraient être réglés par le recours à un système de traitement des eaux usées "sans effluent". Aucune eau usée ne serait rejetée dans les eaux réceptrices si l'on adoptait un système complètement fermé et si toute percolation à partir des décharges pour déchets solides était éliminée par un confinement à toute épreuve. La technique des systèmes "sans effluent" existe, mais elle comporte des

inconvénients en termes de coûts et des difficultés d'exploitation. Dans les systèmes fermés, les matières dissoutes et en suspension s'accumulent dans l'eau, et il faut recourir à des procédés d'épuration de l'eau relativement coûteux et complexes pour éliminer les polluants et rendre l'eau réutilisable. Là où l'eau est relativement abondante, des systèmes de gestion de l'eau d'alimentation et des eaux usées adaptés à l'environnement peuvent ne pas menacer le milieu aquatique et la santé au point de justifier l'implantation d'un système sans effluent.

Les recommandations (série 200) concernant les systèmes d'eaux de type 2 et les explications et éléments de conception afférents sont présentés dans les pages qui suivent. **Trois approches principales** ont été adoptées dans la formulation des recommandations:

1) Minimiser les types et les quantités de polluants, ainsi que les volumes d'eaux usées (R201 à R207);
2) Stocker les eaux usées et les résidus (R208 à R210);
3) Épurer les eaux usées avant de les rejeter (R211 à R213).

4.2.1.1 Additifs chimiques dans le système de refroidissement par évaporation avec recyclage

Recommandation R201

Pour lutter contre le bio-encrassement, la corrosion et l'entartrage dans les systèmes de refroidissement par évaporation avec recyclage:

1) Les produits chimiques devraient être évités à moins qu'il soit démontré que leur utilisation est nécessaire ou ne présente aucun danger pour l'environnement;
2) Les matériaux à base d'amiante ne devraient pas être utilisés dans les composantes des tours de refroidissement;
3) Les additifs chimiques contenant du chrome ne devraient pas être utilisés dans les systèmes de recyclage avec étang de refroidissement;
4) Les systèmes faisant appel à des additifs chimiques (s'ils sont nécessaires) devraient être conçus de façon à minimiser l'utilisation des produits chimiques tout en luttant adéquatement contre l'encrassement, l'envasement, la corrosion et l'entartrage.

Explication

La présente recommandation élimine, ou du moins vise à décourager, la pollution des eaux réceptrices par des substances délétères contenues dans les eaux de purge des systèmes de refroidissement par évaporation qui produisent les plus gros volumes d'eaux usées dans les centrales dotées de tels systèmes. Les matériaux à base d'amiante utilisés dans les tours de refroidissement peuvent être mis en suspension dans l'air (par dérive) et peuvent être cancérigènes s'ils sont inhalés (mésothéliome). Le chrome hexavalent est très toxique et peut former un précipité (boue) difficile à gérer dans les étangs de refroidissement. Le chlore peut former des composés toxiques cancérigènes; d'autres produits chimiques liés au bio-encrassement, à l'envasement, l'entartrage et la corrosion peuvent être nocifs. Leur utilisation n'est pas recommandée; si elle est nécessaire pour des raisons fonctionnelles, on recommande d'en utiliser le moins possible pour minimiser la nocivité des rejets.

Éléments de conception

La recommandation R201 est semblable aux recommandations R111 et R112 pour les systèmes de refroidissement à passage unique. Des mesures de lutte contre le bio-encrassement, l'envasement, l'entartrage et la corrosion ne sont souvent pas requises

parce que la qualité de l'eau dans le système de recyclage est satisfaisante. Cependant, si des mesures sont requises:
1) Des dispositifs de nettoyage mécaniques pour les tubes des condenseurs peuvent être utilisés en continu ou par intermittence pour combattre le bio-encrassement, l'envasement et l'entartrage;
2) Les condenseurs et les échangeurs de chaleur peuvent être nettoyés chimiquement ou mécaniquement pendant les arrêts (et les déchets, recueillis et traités);
3) Des matériaux de construction choisis judicieusement préviendront la corrosion;
4) On peut faire appel à la protection cathodique pour combattre la corrosion dans les enveloppes et les tubes de condenseur et d'échangeur de chaleur et aux autres interfaces de caractéristiques galvaniques différentes qui sont sujettes à la corrosion;
5) On peut souvent réduire l'entartrage (dû à l'accumulation de certaines matières dissoutes et à leur précipitation sur les tubes des échangeurs de chaleur) en abaissant simplement le pH de l'eau de recirculation;
6) On peut installer des systèmes d'injection et de régularisation automatiques des produits chimiques et des systèmes de contrôle des métaux (p. ex. des éprouvettes) pour minimiser l'utilisation des produits chimiques;
7) Il existe déjà des produits de remplacement pour les composantes à base d'amiante des tours de refroidissement (les composantes à base d'amiante ont aussi une résistance limitée au gel-dégel et à différents pH);
8) Il existe des produits chimiques, pour combattre la corrosion et l'entartrage, qui ne contiennent pas de chrome.

Même si la recommandation R201 vaut pour les systèmes de refroidissement par évaporation avec recyclage, certains points peuvent être applicables aux systèmes de refroidissement avec recyclage mais sans évaporation (circuit d'eau intermédiaire fermé échangeant de la chaleur avec le système de refroidissement sans recyclage), aux systèmes de transport des cendres avec recyclage et aux stations d'épuration de l'eau. L'objectif général est d'éliminer l'utilisation excessive de produits chimiques qui peuvent être rejetés dans l'environnement.

4.2.1.2 Utilisation de l'eau dans le système de refroidissement par évaporation avec recyclage

Recommandation R202

Le système de refroidissement par évaporation avec recyclage devrait être conçu de façon:
1) À fonctionner à un minimum de deux cycles de concentration (rapport des matières dissoutes dans l'eau de recyclage aux matières dissoutes dans l'eau d'appoint supérieur à deux);
2) Que l'eau d'appoint soit, si possible, introduite dans le système par les refroidisseurs auxiliaires.

Explication

Comme les systèmes de refroidissement par évaporation avec recyclage utilisent beaucoup moins d'eau que les systèmes de refroidissement à passage unique, la faune aquatique entraînée et piégée subit moins de dommages. Au-delà de deux cycles de concentration, un système avec recyclage utilise moins de 5 p. 100 de l'eau qu'utilise un système à passage unique (sans recyclage). En deçà de ce nombre de cycles, la consommation d'eau et les volumes d'eaux de purge augmentent considérablement. Comme les eaux de purge des systèmes de refroidissement avec recyclage sont des eaux usées de type 2 et que la faune aquatique entraînée périra probablement, la présente recommandation limite les volumes d'eau prélevée et restituée par ces systèmes.

L'introduction d'eau d'appoint non usée par les refroidisseurs (ou réfrigérants) auxiliaires (R202; 2) diminue la possibilité d'entartrage dans ces échangeurs de chaleur et l'utilisation résultante de produits chimiques pour combattre l'entartrage.

Éléments de conception

1) Les étangs de refroidissement ont en général des cycles de concentration inférieurs à ceux des tours de refroidissement. Les étangs de refroidissement sont souvent alimentés en eau d'appoint naturelle par un cours d'eau qui présente des variations saisonnières. Lorsque des étangs de refroidissement fonctionnent comme des systèmes de refroidissement par évaporation avec recyclage, les recommandations concernant le refroidissement sans recyclage (série 100) ne sont pas nécessairement applicables, même si un grand nombre d'entre elles pourraient être adoptées (en ce qui concerne les entrées de prise d'eau, les sorties de restitution, etc.). (Comme les étangs de refroidissement sont des réservoirs qui présentent de fortes variations saisonnières, ils sont considérés comme des systèmes "avec recyclage" lorsque le débit d'évacuation annuel moyen est inférieur à 3 m^3/s par 1000 MW de puissance installée et que la faune aquatique était peu importante avant l'endiguement, comme il en est question en 3.2.2.) Dans de nombreux cas, il ne sera pas nécessaire de prévoir des mesures spéciales de lutte contre l'entartrage, à deux cycles de concentration, selon la qualité de l'eau d'appoint.

2) Les tours de refroidissement fonctionnent habituellement à plus de deux cycles de concentration (par ex. 15 cycles de concentration). Comme les tubes de condenseur et d'échangeur de chaleur, les tours de refroidissement peuvent s'encrasser en conditions aérobies. Plus le cycle de concentration est élevé, plus les volumes d'eau d'appoint et de purge seront faibles. Comme les eaux de purge présentent de fortes teneurs en matières dissoutes et en suspension, il est raisonnable de les épurer avant de les rejeter (voir R211).

3) Un problème de fonctionnement de certains systèmes de refroidissement avec recyclage est celui de l'entartrage des tubes des condenseurs et des échangeurs de chaleur qui sont soumis à des températures élevées. Comme les besoins en eau des réfrigérants (ou refroidisseurs) auxiliaires sont beaucoup moindres que ceux des condenseurs, l'introduction d'eau d'appoint contenant relativement peu de matières dissoutes dans ces échangeurs de chaleur diminue les probabilités d'entartrage. En outre, même s'il existe des dispositifs de nettoyage mécanique en continu pour les condenseurs, on les utilise peu pour les petits réfrigérants auxiliaires, de sorte qu'il se peut qu'il faille recourir au nettoyage chimique en cas d'entartrage.

4.2.1.3 Système de refroidissement auxiliaire

Recommandation R203

Tout système de refroidissement auxiliaire dans lequel l'eau de refroidissement pourrait être polluée devrait être un système à circuit de recyclage intermédiaire (c'est-à-dire un circuit fermé entre le circuit d'eau de refroidissement avec recyclage et les réfrigérants auxiliaires pour le matériel) ou devrait faire intervenir une autre méthode efficace pour empêcher la pollution accidentelle de l'eau de refroidissement du circuit sans recyclage.

Explication

L'eau d'un système de refroidissement auxiliaire peut être polluée (par de l'huile, de l'eau lourde tritiée, etc.) si la pression de l'eau du système de refroidissement à passage unique est inférieure à celle du fluide du système de refroidissement auxiliaire du matériel. Lorsqu'un échangeur fuit, il est difficile d'empêcher immédiatement la pollution d'un volume d'eau relativement grand tout en maintenant la centrale en activité et il est possible qu'on ne puisse repérer la fuite avant un certain temps. En prévoyant un circuit

fermé intermédiaire, on peut éviter la pollution accidentelle du circuit d'eau de refroidissement auxiliaire sans recyclage. D'autres méthodes de prévention des fuites peuvent aussi être efficaces.

Éléments de conception

1) Si l'eau d'un circuit de refroidissement auxiliaire à passage unique est susceptible d'être polluée, il faudrait prévoir un circuit d'eau intermédiaire de protection. Si l'eau de ce circuit fermé est polluée, elle reste stockée à l'intérieur de la centrale et peut être extraite du circuit et traitée avant d'être rejetée. En ce qui a trait au matériel de refroidissement auxiliaire qui ne contient aucun polluant dangereux (par ex. uniquement de l'eau propre) ou dont la pression est inférieure à celle de l'eau du circuit de refroidissement à passage unique, un circuit fermé intermédiaire n'est pas nécessaire.

2) En pratique, les systèmes de refroidissement à passage unique qui utilisent de l'eau salée ou de l'eau douce plus ou moins propre sont munis d'un circuit fermé intermédiaire qui minimise la corrosion dans le premier cas ou l'entartrage dans le second cas. La qualité de l'eau du circuit intermédiaire peut être contrôlée de façon qu'il n'y ait ni corrosion ni entartrage dans les systèmes de refroidissement du matériel auxiliaire qui sont à des températures relativement élevées. La corrosion ou l'entartrage peuvent être contrôlés plus facilement dans les échangeurs de chaleur à circuit fermé et passage unique (sans recyclage) dont le nombre est relativement inférieur à celui des systèmes de refroidissement du matériel auxiliaire.

3) D'autres méthodes de prévention des fuites peuvent toutefois être efficaces, notamment les dispositifs de détection rapide des fuites jumelés à des sytèmes d'alarme et d'isolation rapide des échangeurs de chaleur défectueux. Si elle était dotée d'échangeurs de chaleur de rechange, la centrale pourrait fonctionner à pleine capacité pendant la réparation de l'appareil défectueux.

4.2.1.4 Système de traitement des cendres

Recommandation R204

Le système de collecte, de transport et d'élimination des cendres dans une centrale au charbon devrait être constitué d'un système à cendres volantes "sèches" et d'un système à cendre de fond avec "recyclage", à moins qu'il soit démontré que le volume total d'eaux usées et les quantités totales de polluants rejetés sont plus faibles dans d'autres types de systèmes de traitement des cendres.

Explication

En minimisant la consommation d'eau dans un système de transport des cendres, on réduit la quantité de polluants entraînés par percolation dans les eaux de surface et les eaux souterraines. On réduit aussi la possibilité de rejet de particules de cendres en suspension.

Éléments de conception

La présente recommandation vise à décourager l'utilisation de systèmes de transport des cendres volantes et des cendres de fond sans recyclage, dans lesquels on utilise de l'eau pour transporter les cendres jusqu'aux décharges, eau qui est ensuite rejetée directement dans l'environnement. Différentes autres possibilités permettraient de réduire les volumes d'eaux usées dans les systèmes de traitement des cendres.

1) Dans un système de traitement des cendres volantes "sèches", on utilise de l'air (air sous pression et vide) pour transporter les cendres des dépoussiéreurs électriques (ou des dépoussiéreurs à sacs filtrants) dans un silo à cendres volantes. On mouille la cendre des silos pour en éliminer la poussière avant de la charger dans des camions, des trains ou des convoyeurs et la transporter "sèche" jusqu'à la décharge à cendres.

2) Dans un système de traitement des cendres de fond avec recyclage, on utilise de l'eau pour transporter les cendres du fond de la chaudière vers un récipient; les cendres sont ensuite déshydratées et transportées par camion, par train ou par convoyeur à la décharge. On laisse les matières en suspension décanter dans l'eau utilisée pour le transport des cendres et l'eau est recyclée vers la chaudière pour être rechargée de cendres de fond. Il faut rajouter de l'eau pour remplacer l'eau retenue dans les cendres évacuées.

3) Dans un système de transport des cendres de fond à convoyeur à chaîne immergé, les cendres, refroidies avec de l'eau, sont évacuées du fond de la chaudière, sont remontées sur un plan incliné où elles se déshydratent et sont déchargées sur une courroie transporteuse qui les achemine dans un récipient. Elles sont transportées par véhicule à la décharge. L'eau de déshydratation des cendres de fond est refroidie et recyclée vers la chaudière, une fois les matières en suspension retirées. On estime que ce système devrait consommer en général moins d'eau d'appoint et produire moins d'eaux usées qu'un système équivalent avec recyclage classique.

4) Il existe aussi des systèmes à cendres volantes "humides" avec recyclage, des systèmes à cendres de fond avec recyclage et des systèmes combinés cendres volantes/cendres de fond avec recyclage où on utilise des étangs plutôt que des récipients ou des silos. Les étangs sont les points ultimes de décharge des cendres et des matières en suspension extraites de l'eau recyclée. Les constituants des cendres volantes (et, dans une moindre mesure, des cendres de fond) qui sont lixiviés dans l'eau peuvent entartrer les appareils et la tuyauterie. Les zones de haute température, les zones stagnantes et les conduites de retour des étangs sont les plus vulnérables. On peut réduire l'entartrage de ces systèmes totalement humides en effectuant des purges, en contrôlant le pH ou en traitant des courants secondaires (c.-à-d. éliminer en continu les agents d'entartrage d'une portion de l'eau de recyclage). Si on opte pour des systèmes entièrement humides, il faut démontrer que les volumes d'eaux usées et de polluants rejetés dans les eaux de purge sont inférieurs à ceux des effluents d'un système combiné cendres volantes sèches/cendres de fond avec recyclage. Dans la démonstration, il faut que le volume calculé d'effluents admissibles du système à cendres de fond soit le volume requis pour réduire l'entartrage seulement et non pour rétablir des déséquilibres accidentels dans le bilan hydrique du système. Une autre possibilité serait un système à cendres humides sans effluent.

4.2.1.5 Système de désulfuration des gaz de carneau

Recommandation R205

Le système de désulfuration des gaz de carneau d'une centrale à combustible fossile devrait être, dans la mesure du possible, choisi et conçu de façon à faire partie d'un circuit fermé d'eau de traitement ou d'un circuit équivalent (c.-à-d. sans effluent d'eaux usées de traitement pendant le fonctionnement normal).

Explication

Les eaux usées des systèmes de désulfuration des gaz de carneau en voie humide peuvent être très alcalines ou très acides, et peuvent contenir beaucoup de matières dissoutes parmi lesquelles on compte des fluorures, des chlorures, des sulfates et des métaux toxiques. La présente recommandation vise à décourager le rejet direct des polluants qui proviennent des systèmes de désulfuration des gaz de carneau (DGC).

Éléments de conception

Une grande partie de l'eau perdue dans les systèmes de DGC l'est par évaporation dans les gaz de carneau qui sortent de la cheminée. Une certaine quantité d'eau est aussi perdue

par occlusion dans les résidus solides provenant de l'absorption et de la réaction du dioxyde de soufre dans un réactif liquide. À cause des pertes d'eau, il est facile d'éliminer complètement les effluents de la plupart des systèmes de DGC sans soumettre l'eau du système à des traitements relativement complexes. Il existe d'autres techniques permettant de réduire les effluents des systèmes de DGC.

1) Les séchoirs atomiseurs pour DGC utilisent de l'eau pour mouiller et stabiliser les déchets "secs". L'eau dans le produit d'épuration s'évapore, laissant des produits de réaction secs.

2) Les systèmes "humides" de DGC au calcaire, à la chaux ou aux doubles alcalis avec oxydation naturelle ne produisent normalement pas beaucoup d'effluents. Dans ces systèmes, les produits de réaction humides sont en général des résidus ou des boues. Comme ces résidus sont relativement difficiles à déshydrater (surtout les boues thixotropiques de sulfite), le bilan hydrique global du système ne sera généralement pas perturbé, de sorte qu'il n'y aura pas lieu de rejeter des effluents. Évidemmment, les boues thixotropiques devraient être stabilisées ou fixées avant d'être éliminées (voir R207).

3) Les systèmes "humides" de DGC peuvent être exploités en oxydation forcée pour obtenir un essorage relativement efficace des boues (surtout les boues de sulfate ou de gypse). Ce mode d'exploitation peut perturber le bilan hydrique du système car moins d'eau est purgée sous forme d'eau d'occlusion dans la boue, et il se peut qu'il faille rejeter des effluents. En outre, certains types de système de DGC peuvent être dotés d'un circuit de pré-épuration en amont du système d'épuration principal. Le circuit de pré-épuration aura tendance à absorber les chlorures, les fluorures et les polluants dont l'absorption et la réaction ne nécessiteront pas un réactif désulfurant et qui concentreront les agents de corrosion dans une partie du système. Comme le circuit de pré-épuration sera assez fortement pollué, il se peut qu'on ne puisse facilement le réutiliser dans le système de DGC et qu'on doive le purger de ce système. Pour respecter la recommandation R205, on peut réutiliser les eaux de purge directement dans un autre système ou les épurer avant de les réutiliser dans le système de DGC ou dans d'autres systèmes de la centrale. Parmi les techniques éprouvées de réduction efficace des matières dissoutes, il y a l'évaporation mécanique (par ex. les évaporateurs à compression de vapeur) précédée parfois par une osmose inverse. Les distillats des évaporateurs peuvent être condensés et utilisés par la station d'épuration de l'eau d'alimentation des chaudières comme appoint pour les déminéralisateurs, si la qualité de l'eau est acceptable. Une telle réutilisation ou une réutilisation semblable à l'intérieur de la centrale permettrait de considérer comme efficace le circuit fermé. Les systèmes de DGC au calcaire avec oxydation forcée produisent un sous-produit riche en gypse ($CaSO_4 . 2H_2O$). Ce sous-produit peut être déshydraté mécaniquement et évacué par camion ou par convoyeur vers une décharge. Une autre possibilité consiste à pomper le produit vers la décharge et à entasser le gypse en le laissant s'assécher naturellement. L'eau de drainage est alors retournée dans le système de DGC. Comme l'eau de précipitation s'ajoutera au bilan hydrique du système, il faudra épurer de plus grands volumes d'eaux usées. (Voir R207 pour une analyse plus poussée de l'élimination et de l'utilisation des sous-produits de DGC, et R208 pour une analyse des moyens de stockage.)

4) La recommandation R205 déconseille l'utilisation des systèmes de DGC sans recyclage qui utilisent de l'eau de mer ou d'autres réactifs.

5) Des mesures concrètes pour fermer le circuit d'un système de DGC comprendraient:

a) Des pompes nécessitant peu d'eau pour les joints d'étanchéité;

b) Des désembueurs utilisant peu d'eau;

c) Des capacités tampons pour les situations anormales, le drainage de l'équipement et les précipitations très fortes;

d) Des matériaux de fabrication résistant aux matières dissoutes.

4.2.1.6 Réutilisation de l'eau

Recommandation R206

Lorsque les conditions s'y prêtent, les eaux de traitement et de service devraient être prélevées à la sortie des condenseurs ou des systèmes de refroidissement auxiliaires, ou à même les effluents (épurés ou non épurés) de la centrale.

Explication

En réutilisant l'eau, on diminue le volume d'eau prélevé dans le milieu naturel ainsi que les dommages causés aux organismes vivants entraînés. Par exemple, si on suppose que des organismes aquatiques ont été endommagés dans l'eau du système de refroidissement auxiliaire, on peut empêcher les dommages de se reproduire en réutilisant cette eau. La réutilisation de l'eau permettra de réduire le volume total d'effluents et de faciliter le contrôle et l'épuration éventuelle de volumes relativement faibles d'eaux usées très polluées avant le rejet.

Éléments de conception

Il existe de nombreux moyens de réutiliser l'eau.

1) Dans les centrales où on utilise de l'eau douce pour le refroidissement, on pourrait utiliser l'eau sortant du système de refroidissement auxiliaire à passage unique pour l'alimentation d'appoint de la station de traitement de l'eau et pour presque tous les autres services. De même, on pourrait utiliser l'eau sortant du système de refroidissement des condenseurs, même si les organismes entraînés dans cette eau sont en général moins éprouvés que ceux qui ont été entraînés dans l'eau de refroidissement auxiliaire.

2) Un système de gestion de l'eau "en cascades" offre de nombreuses possibilités. Ici, les eaux usées ou de purge d'un système servent comme alimentation d'appoint d'un autre système qui nécessite de l'eau de moindre qualité. Par exemple, dans les centrales au charbon, la qualité de l'eau a une importance décroissante pour les joints d'étanchéité des pompes, la préparation des réactifs de DGC et des désembueurs, le lavage des planchers et de l'équipement, le transport des cendres et l'arrosage des tas de cendres et de charbon pour éliminer la poussière. Les eaux de purge des systèmes de refroidissement par évaporation avec recyclage représentent des volumes considérables d'eau de qualité acceptable pour de nombreux autres procédés.

3) L'idéal est une centrale sans effluent où aucune eau de traitement n'est rejetée. Cela est techniquement possible mais suppose des systèmes de gestion et de traitement de l'eau relativement complexes et entraîne des difficultés d'exploitation pour les proposés, notamment pendant la mise en route de la centrale. Dans les régions où il y a peu d'eau et où les eaux réceptrices sont vulnérables, cet idéal peut constituer la solution juste.

4.2.1.7 Décharges contrôlées

Recommandation R207

Les décharges qui reçoivent les cendres de chaudières, les déchets de désulfuration des gaz de carneau et les rebuts de la centrale devraient comporter les caractéristiques suivantes:

1) Elles devraient être aménagées par étapes au cours de l'existence de la centrale;

2) Tous les déchets devraient avoir une stabilité physique et chimique permettant la réutilisation des terrains;

3) Elles devraient faire l'objet de travaux de terrassement et de remblayage pour minimiser l'infiltration des précipitations pendant leur utilisation;

4) À l'abandon des décharges, les lieux devraient être restaurés de façon à permettre une nouvelle utilisation.

Explication

On peut atténuer les dommages causés au sol par l'aménagement d'une décharge et les effets possibles sur les eaux de surface et les eaux souterraines en procédant à un aménagement par étapes plutôt qu'en aménageant d'un coup un terrain d'une superficie suffisante pour toute l'existence de la centrale. Les propriétés des déchets devraient être telles que, par exemple, le sol puisse supporter le poids d'engins de terrassement lourds et que les déchets instables physiquement ne soient pas abandonnés dans l'environnement à perpétuité. L'infiltration dans les déchets des précipitations, qui entraîne une lixiviation et une possible percolation jusque dans les eaux souterraines, peut être minimisée par des travaux de terrassement contenant les eaux de ruissellement en périphérie. La remise en état des lieux après leur utilisation aura aussi pour effet de limiter l'infiltration des précipitations et donc la pollution des eaux souterraines et permettra de réutiliser indéfiniment le terrain. L'objectif principal est de réduire au minimum les effets des décharges sur la qualité des eaux et l'utilisation des terrains.

Éléments de conception

1) Les travaux d'aménagement et de terrassement par étapes peuvent être effectués par des engins de terrassement qui sont de toute façon nécessaires sur place en temps normal.

2) Il semblerait que les cendres volantes sèches et les cendres de fond déshydratées soient assez stables pour supporter le matériel lourd (bulldozers, camions, etc.) sans trop déformer le terrain. Il est vraisemblable que les cendres cémenteuses se tassent et durcissent naturellement.

3) Il faudrait prévoir un drainage efficace des étangs au moyen d'une couche de fond constituée de matériaux grossiers (par ex. des cendres de fond grossières), d'installations de pompage, etc.

4) Les déchets des systèmes de DGC à oxydation naturelle par voie "humide" devront être déshydratés et devront peut-être à cet effet être additionnés de cendres volantes ("stabilisation") et de chaux ou de produits chimiques ("fixation").

5) Les systèmes de DGC à la chaux avec oxydation forcée doivent permettre de déshydrater les déchets. L'entassement de gypse humide est un moyen réalisable techniquement. Les boues sont pompées vers la décharge sans être essorées. Elles s'accumulent dans les dykes et se déshydratent sous l'action de la pesanteur; l'eau décantée est retournée au système de DGC. Le gypse humide peut causer des problèmes: trop grande superficie de terrain, production excessive de lixiviat (solides entraînés par l'eau de ruissellement) et possibilité de restauration à démontrer.

6) Dans les systèmes de traitement de cendres volantes sèches, au lieu de rejeter les cendres, on peut les utiliser dans la fabrication de différents ciments et bétons. Il existe une technique faisant appel aux propriétés pouzzolaniques des cendres volantes. Des applications de stabilisants des déchets sont aussi possibles. On peut tenter d'extraire des cendres du concentré de fer magnétique, des cénosphères, de l'aluminium et d'autres métaux.

7) Une autre solution pour les systèmes de DGC au calcaire avec oxydation forcée est de produire du gypse pour la fabrication de panneaux muraux commerciaux et résidentiels ou d'agents retardateurs pour le ciment. Dans la conception des systèmes de DGC, il faudrait envisager la production commerciale de gypse qui est techniquement réalisable. Les déchets des systèmes de DGC à séchoir atomiseur peuvent être utilisés comme agrégats ou comme constituants possibles d'autres matériaux de construction au lieu d'être éliminés.

8) Si les déchets doivent être rejetés, on peut prévoir dans la phase de conception des mesures de restauration des lieux comme le décapage et l'entreposage de la couche arable (terre végétale) et sa remise en place avant la désaffectation. La végétation originale se remettra à pousser immédiatement sur la terre végétale.

9) L'utilisation à long terme d'un lieu d'élimination devrait être prévue pendant la phase de conception. Par exemple, le terrain pourrait être réutilisé à des fins agricoles, forestières, récréatives, domiciliaires ou industrielles, et cette vocation future influera sur l'aménagement de la décharge.

4.2.1.8 Séparation et stockage des eaux usées et autres déchets liquides

Recommandation R208

Le système de gestion des eaux usées devrait avoir les caractéristiques suivantes:

1) Stockage des effluents pollués ou susceptibles de l'être (eaux de purge normales, eaux de lavage et fuites de l'équipement, eaux déversées, eaux de ruissellement des précipitations, etc.);
2) Installations de collecte séparées pour recueillir les eaux usées différentes (déchets huileux, eaux usées radioactives, eaux de nettoyage des chaudières, etc.);
3) Installations de stockage séparées pour les substances particulièrement dangereuses (polychlorobiphényls, produits de nettoyage et de décontamination des métaux, eaux usées radioactives, etc.);
4) Installations de stockage séparées pour les forts volumes de produits chimiques qui réagissent violemment entre eux (par exemple, acides et alcalis).

Explication

Ces mesures réduiront au minimum la possibilité de rejets accidentels de polluants dans l'environnement. En outre, la qualité des eaux peut être établie avant leur épuration, leur rejet ou leur réutilisation. La séparation des effluents différents facilitera leur épuration, le cas échéant, réduisant ainsi la quantité totale de polluants rejetée par la centrale. La séparation des produits chimiques pouvant être explosifs diminuera les risques d'accidents. Le but principal des mesures de la recommandation R208 est d'éviter le rejet direct, dans les égouts municipaux ou les eaux de surface, des eaux usées des systèmes de refroidissement sans en vérifier la qualité ou sans les épurer le cas échéant.

Éléments de conception

Même si la recommandation est assez explicite, son application dépendra du type de centrale (charbon, pétrole, gaz ou nucléaire), des systèmes de traitement retenus pour la centrale (c'est-à-dire pour le transport des cendres volantes sèches ou humides, pour le refroidissement avec recyclage, etc.), de l'emplacement des trop-pleins de purge et des drains de ces systèmes (par ex. la salle des turbines, le système de DGC) et des précipitations dans la région (par ex. les eaux de ruissellement des tas de charbon). Il faut faire preuve de discernement dans l'application des différents éléments de la recommandation. Voici des exemples d'eaux usées à recueillir et à stocker:

1) Effluents des stations d'épuration de l'eau (toutes les centrales);
2) Eaux de drainage de la salle des turbines (toutes les centrales);
3) Eaux de drainage de la salle des chaudières, y compris des eaux de lavage périodique des chaudières et des réchauffeurs d'air (centrales au charbon);
4) Eaux de drainage du bâtiment du réacteur et du bâtiment d'entretien du réacteur et eaux de décontamination (centrales nucléaires);
5) Eaux de ruissellement des tas de charbon (centrales au charbon);
6) Eaux de purge des systèmes de traitement des cendres et eaux de ruissellement des décharges à cendres (centrales au charbon);
7) Eaux de drainage du matériel de DGC (centrales à combustible fossile);
8) Eaux de drainage extérieur des terrains des centrales (toutes les centrales).

La séparation, la collecte et le stockage d'eaux usées dont les caractéristiques d'écoulement et la composition chimique varient faciliteront le contrôle de la qualité et l'épuration adéquate avant toute dilution avec d'autres eaux usées, réduisant ainsi le volume total de polluants rejetés. Le contrôle de la qualité déterminera si les eaux peuvent être rejetées directement ou si elles doivent être dirigées vers un système de traitement en vue d'une seconde utilisation (voir recommandation R211). Une autre solution pour les centrales au charbon serait d'aménager des étangs de stockage pour les effluents de basse, moyenne et haute qualités, les premiers étant traités et les autres réutilisés directement. Tout en suivant les principes de R208, le concepteur doit choisir les applications les mieux adaptées à telle centrale.

Le stockage séparé de forts volumes de réactifs chimiques ne vaut pas pour les produits chimiques de laboratoire. Des mesures adéquates en laboratoire réduiront le risque d'accident. Les fuites de gros réservoirs d'emmagasinement de liquides sont plus difficiles à empêcher et peuvent avoir des conséquences plus graves.

4.2.1.9 Capacité de stockage des eaux usées et autres déchets liquides

Recommandation R209

Les installations de collecte et de stockage des eaux usées devraient être conçues pour contenir le volume maximal d'eaux usées dont on peut raisonnablement anticiper qu'elles seront stockées avant même que survienne une des situations suivantes:

1) La quantité maximale d'eaux usées est produite en 24 heures;
2) La quantité maximale d'eaux usées devant être confinée en cas de fuite ou de déversement est produite;
3) Des précipitations cumulées de 24 heures calculées pour une période de retour de 100 ans se produisent alors que le stockage se fait à l'extérieur.

Explication

Ces capacités de stockage sont probablement suffisantes pour la plupart des situations qui pourraient survenir au cours de l'existence de la centrale. Des mesures appropriées peuvent être prises par le personnel d'exploitation de la centrale dans un délai de 24 heures pour s'assurer que des polluants ne sont pas rejetés accidentellement par la centrale. L'utilisation d'une valeur établie en fonction d'une période de retour de 100 ans en ce qui concerne les précipitations diminue la probabilité qu'un ouvrage extérieur de stockage déborde, même s'il est toujours possible qu'il déborde un jour pendant la durée d'exploitation de la centrale.

Éléments de conception

L'application de la recommandation R209 fait appel au discernement dans plusieurs cas.

1) Il faut faire preuve de discernement dans l'évaluation du volume maximal d'effluents produit par différentes sources en 24 heures. Dans certains cas, il peut s'agir du volume d'un effluent périodique (par ex. les eaux de nettoyage des chaudières). Il serait utile de disposer de données de plusieurs années pour les effluents particuliers de centrales existantes semblables. La "pire situation" hypothétique sera fonction dans une certaine mesure de la probabilité et de la nature des effluents (par ex. on obtiendrait des estimations plus prudentes pour des eaux de décontamination que pour les eaux de drainage de la salle des turbines).

2) Il faut faire preuve de discernement dans l'évaluation du volume probable maximal de déversements. Par exemple, un parc de réservoirs de pétrole peut comporter plusieurs réservoirs dans un périmètre de stockage particulier. Il se peut que le concepteur veuille prévoir une fuite d'un réservoir ou des fuites simultanées de plusieurs réservoirs. Il conviendrait aussi d'ajouter au volume maximal de déversements une marge de sécurité arbitraire (par ex. 10 p. 100 en volume).

3) Dans le cas d'un stockage à l'extérieur, la différence entre la probabilité de 1 événement en 10 ans et la probabilité du même événement en 100 ans n'est pas très grande, en général. Certains calculs de la capacité de stockage incluent un facteur de sécurité dans l'utilisation de la période de retour de 25 ans (par ex. un facteur de 1,5). Si on adopte une période de 25 ans (ou moins) sans ajouter un facteur de sécurité, il est inévitable qu'à un moment donné un ouvrage de retenue débordera et fuira au cours de l'existence de la centrale. Il faut faire preuve de discernement dans l'évaluation du coefficient de ruissellement d'une zone particulière (rapport des eaux de ruissellement aux précipitations). Les terrains d'usage général seront plus perméables que les aires dotées de barrières antipercolation (par ex. les tas de charbon) (voir R210).
4) Stockage n'exclut pas traitement (voir R211). Par exemple, si les drains d'un terrain d'usage général se déversent dans un bassin de retenue des eaux pluviales, les matières lourdes précipiteront. Des mesures peuvent être prises pour contenir les déversements possibles d'hydrocarbures (barrages de confinement). Des absorbants peuvent aussi être installés sous le gravier des aires de manoeuvre des installations de stockage.
5) Des ouvrages de stockage peuvent être utilisés comme bassins de compensation dans les stations de traitement pour diminuer les variations dans le débit et les caractéristiques physiques et chimiques des eaux à traiter (voir R211).
6) Lorsqu'il peut être démontré qu'une installation de stockage peut permettre le traitement adéquat des volumes d'eaux usées indiqués dans R209, il n'est pas nécessaire d'appliquer rigoureusement les mesures de R209. Par exemple, si la station de traitement des eaux de ruissellement d'une décharge à cendres peut éliminer efficacement les matières en suspension (ou d'autres éléments pertinents) pendant 24 heures de précipitations calculées pour une période de retour de 100 ans, il est possible qu'un débit régulier de trop-plein soit aussi acceptable que la retenue du volume total d'eaux de ruissellement provenant des précipitations.
7) Les installations de stockage peuvent être aménagées autour de l'équipement situé à l'extérieur comme à l'intérieur de la centrale (par ex. des transformateurs, des réservoirs d'emmagasinement des produits chimiques). La capacité de stockage devrait aussi permettre le rejet contrôlé des précipitations non polluées.
8) Toute installation de stockage devrait comporter un système de régularisation de la vidange et du traitement de son contenu, permettant aussi le déversement du trop-plein dans des conditions extrêmes.

Des recommandations concernant l'exploitation des installations de stockage devraient être incluses dans le Code de la phase d'exploitation.

4.2.1.10 Mesures contre la percolation

Recommandation R210

Toute percolation (perte par fuite) jusque dans les eaux souterraines ou superficielles devrait être prévenue par une barrière naturelle ou artificielle qui respecte les conditions minimales suivantes en ce qui a trait à l'épaisseur de matériau et à la perméabilité maximale à l'eau, mesurée sur la hauteur entière entre la nappe aquifère et le fond du bassin de stockage.

1) L'équivalent de 1 mètre d'un matériau permettant une percolation de 1×10^{-7} cm/s pour:
a) La base des tas de charbon titrant plus de 1 p. 100 de soufre;
b) Les installations de retenue des eaux de ruissellement des tas de charbon titrant plus de 1 p. 100 de soufre;
c) Les étangs de stockage et de traitement des déchets chimiques (sauf ceux qui sont indiqués ci-dessous);
d) Le secteur occupé par les cellules de stockage des déchets radioactifs solides;

2) L'équivalent de 1 m d'un matériau permettant une percolation de 5×10^{-7} cm/s pour:
a) Les étangs à cendres;
b) Les étangs à déchets de désulfuration des gaz de carneau;

3) L'équivalent de 1 m d'un matériau permettant une percolation de 1×10^{-10} cm/s pour:
a) La base des tas de charbon titrant moins de 1 p. 100 de soufre;
b) Les installations de retenue des eaux de ruissellement des tas de charbon titrant moins de 1 p. 100 de soufre;
c) Les décharges à cendres sèches ou déshydratées*;
d) Les décharges à déchets de désulfuration des gaz de carneau secs ou déshydratés.

4) L'équivalent de 1 m d'un matériau permettant une percolation de 1×10^{-5} cm/s pour:
a) Les installations de stockage des parcs de réservoirs de pétrole;
b) Les enveloppes des transformateurs et des aiguillages;
c) Tous les autres ouvrages de dérivation et de collecte.

Explication
La pollution des nappes aquifères souterraines par des combustibles de centrales à vapeur, des produits chimiques industriels, des eaux usées et des déchets solides est réduite. Les exigences quant à la capacité d'empêcher la percolation dépendent en partie de la nature des matières stockées et de la protection requise par l'environnement contre ces matières.

Éléments de conception
1) Un levé hydrogéologique des aires de stockage et d'élimination des combustibles et des déchets permettra de déterminer le régime des eaux souterraines, les formations géologiques et les coefficients de perméabilité.
2) La recommandation vise surtout à minimiser la pollution des nappes aquifères dont les eaux migrent vers les eaux réceptrices, les sources d'approvisionnement en eau de boisson ou en eau d'irrigation. Par exemple, si le levé hydrogéologique démontre sans équivoque qu'une surface de saturation saisonnière se déplace principalement dans le plan vertical, "l'épaisseur de la barrière" sous cette zone est la profondeur jusqu'à la nappe aquifère qui se déplace dans le plan horizontal.
3) Les formations géologiques ont différentes perméabilités. Plusieurs argiles et limons ont des perméabilités inférieures à 10^{-7} cm/s, tandis que certains sables et graviers ont des perméabilités de plus de 10^{-1} cm/s. Si le levé géologique révèle la présence d'un matériau de plus d'un mètre d'épaisseur ayant une perméabilité de 10^{-7} cm/s ou moins sous la zone, aucune barrière construite ou synthétique n'est requise. (Cependant, les aménagements prévus par R207 sont applicables.)
4) Si on choisit une zone très perméable qui ne respecte pas les limites de percolation, il faudrait apporter un matériau peu perméable ou installer une enveloppe synthétique (un plastique ou un élastomère).

---

* Des recommandations sur les mesures antipercolation applicables aux décharges à cendres des mines de charbon seront faites ultérieurement. Le terme *cendres* comprend les déchets de combustion des chaudières ordinaires, des chambres de combustion à lit fluidisé et des autres appareils de combustion.

5) Il faudrait faire attention, pendant l'aménagement de ces emplacements, de préserver l'intégrité des enveloppes.
6) Un autre moyen de minimiser l'épaisseur d'une barrière construite est d'installer un système de drainage souterrain pour recueillir les eaux usées de surface. Ce moyen peut permettre de réduire l'épaisseur globale ou d'augmenter la perméabilité maximale de la barrière requise, mais le taux de percolation global doit être équivalent à celui qu'on obtiendrait en respectant l'exigence d'un mètre d'épaisseur de la recommandation R210.
7) Non seulement faut-il respecter les mesures de lutte contre la percolation, mais il ne faudrait pas aménager une aire d'élimination dans une plaine inondée ou dans une zone intertidale.
8) Même en respectant les conditions énoncées en R210, il est possible que la migration des polluants soit considérable, notamment dans les grandes décharges à cendres. En outre, l'atténuation naturelle des polluants par les sols varie selon les ions; les polluants peuvent soit s'échapper, soit saturer tôt ou tard les sols. Il en résultera une lente migration à long terme des polluants à partir de l'emplacement.

4.2.1.11 Qualité des effluents d'eaux usées

Recommandation R211

Les eaux usées (eau de type 2) des centrales à vapeur devraient respecter les normes de qualité suivantes avant d'être acheminées dans un système de refroidissement à passage unique, dans un égout municipal ou directement dans les eaux réceptrices locales:

Paramètres et éléments	Limite recommandée
pH	6,5 à 9,5
Fer (total)	≤ 1,0 mg/l
Chrome (total)	≤ 0,5 mg/l
Chrome (hexavalent)	≤ 0,05 mg/l
Cuivre (total)	≤ 0,5 mg/l
Nickel (total)	≤ 0,5 mg/l
Zinc (total)	≤ 0,5 mg/l
Matières en suspension totales (MST)	≤ 25,0 mg/l
Hydrocarbures et graisses	≤ 15,0 mg/l
Chlore résiduel total (CRT)	≤ 0,2 mg/l

1) Les teneurs en métaux s'appliquent aux matières dissoutes et non dissoutes totales.
2) Les valeurs s'appliquent à des moyennes hebdomadaires d'échantillons moyens (c.-à-d. composés).

Explication

La quantité de polluants rejetés dans les eaux réceptrices peut être minimisée grâce à des techniques utilisables et à des méthodes de conception adéquates. Les paramètres et les éléments indiqués sont importants pour la vie aquatique et humaine. En général, les techniques permettant de respecter les limites ont été éprouvées ou ont été jugées utilisables. Même si des limites n'ont pas été prescrites pour tous les paramètres et éléments d'importance écologique, on estime que des méthodes de conception et des techniques conçues pour respecter les conditions prescrites en matière de qualité des effluents permettront de réduire aussi les teneurs en d'autres polluants importants.

L'objectif est de réduire au minimum la quantité de polluants rejetés dans les eaux de surface. Cependant, il est impossible de fixer des limites annuelles parce que les centrales ne sont pas toutes dotées de systèmes normalisés de transport de l'eau. Selon l'emplacement, d'autres polluants d'importance sur le plan écologique peuvent aussi être désignés (par ex. l'arsenic, le bore, le sélénium, le mercure) et une quantité annuelle totale peut être fixée pour différents polluants.

Éléments de conception

Les mesures recommandées ci-dessus permettront de minimiser, de séparer et de stocker les eaux usées à leur source ou près de celle-ci. Par définition, les eaux de type 2 comprennent les eaux de ruissellement, les eaux de purge, les eaux résiduaires industrielles, y compris les eaux usées radioactives, etc. Beaucoup d'effluents respecteront les conditions de R211 sans devoir être traités, notamment pendant le fonctionnement normal d'une centrale. Comme dans le cas d'autres recommandations, le choix des meilleures méthodes de contrôle de la qualité des effluents est laissé aux concepteurs des systèmes de gestion de l'eau et des eaux usées de chaque centrale. Il est possible que des études sur les possibilités de traitement de certaines eaux usées (par ex. à l'échelle réduite ou pilote) soient nécessaires. Certains exemples de techniques et de méthodes de conception qui peuvent améliorer la qualité des effluents sont présentés ci-dessous.

1) Un bilan complet de la consommation d'eau et de la production d'eaux usées (y compris des indications de la qualité des eaux) peut être préparé à partir de données des fabricants d'équipement, de données d'exploitation antérieures, de données climatologiques, etc. Dans certains cas, une activité ou un procédé déterminera les volumes maximaux d'eaux usées (eaux de drainage en cas d'incendie; eaux de drainage de l'équipement comme les chaudières, les clarificateurs; probabilité d'une précipitation de 24 heures pour une période de retour de 100 ans dans une décharge à cendres comble, etc.).

2) Des installations d'absorption/rétention/séparation des huiles pour les produits de drainage huileux (dans la salle des turbines, la salle des moteurs diesel auxiliaires, etc.) peuvent être prévues.

3) On peut neutraliser les effluents acides et alcalins de déminéralisation des stations d'épuration de l'eau en les mélangeant.

4) Les boues des clarificateurs des stations d'épuration de l'eau peuvent être épaissies, déshydratées et éliminées en lieu sûr, notamment après fixation (technique valable aussi pour les boues de traitement des eaux usées).

5) Les résidus de vidange des chaudières peuvent être neutralisés ou clarifiés (la clarification comprend la coagulation, la floculation et la précipitation des matières solides, notamment les déchets de nettoyage des chaudières et de préchauffage de l'air).

6) On peut neutraliser, clarifier et peut-être filtrer les eaux de ruissellement des tas de charbon, notamment de charbon riche en soufre.

7) Les eaux usées de transport des cendres peuvent être séparées (décantation, écumage ou filtration des matières solides), neutralisées et peut-être clarifiées.

8) La réduction par le chlore des eaux de purge de refroidissement avec recyclage peut être prévue.

9) On peut prévoir la précipitation des matières solides et la rétention des hydrocarbures contenus dans les eaux de drainage des terrains d'usage général.

10) On peut prévoir l'évaporation mécanique des eaux usées riches en matières dissoutes ou des eaux usées qui ne se prêtent pas à d'autres traitements physiques ou chimiques (par ex. les eaux usées de DGC, les eaux de purge des tours de refroidissement, les eaux usées mixtes).

11) Les concentrés des évaporateurs et des résidus de traitement des eaux usées peuvent être séchés par pulvérisation.

12) Le chrome hexavalent peut être réduit chimiquement et les eaux de purge des tours de refroidissement peuvent être clarifiées.
13) On peut concevoir un système de gestion de l'eau sans effluent.

Dans la plupart des centrales, il conviendrait d'aménager des installations pour séparer les hydrocarbures et les matières solides et pour contrôler le pH de la plus grande partie des eaux usées. Cependant, dans les centrales à charbon plus ou moins riche en soufre, il faudra prévoir d'autres installations pour les déchets de nettoyage des chaudières et les eaux acides de ruissellement des tas de charbon.

4.2.1.12 Gestion des eaux résiduaires radioactives

Recommandation R212

Il faudrait recourir à des moyens techniques pour assainir davantage les eaux résiduaires contenant des radionucléides produites par les centrales nucléaires à vapeur.

Explication

Les rejets de radionucléides de fission et d'activation des centrales nucléaires peuvent être minimisés au moyen de techniques et de méthodes de conception existantes. Une réduction plus poussée des niveaux actuels de radioactivité de ces rejets permettra de préserver davantage la qualité de l'environnement.

Éléments de conception

Comme dans d'autres recommandations, le choix des meilleures méthodes de contrôle de la qualité des effluents est laissé aux concepteurs des systèmes de gestion de l'eau et des eaux usées propres à chaque centrale. Suivent des exemples de techniques et de méthodes de conception permettant de réduire les rejets de radionucléides dans le milieu aquatique:

1) Minimisation des fuites d'eau lourde tritiée dans le circuit du modérateur et du caloporteur primaire (par ex. en limitant le nombre de raccords dans la tuyauterie);
2) Séparation et collecte de l'eau lourde après une fuite ou un déversement;
3) Récupération, à l'occasion de fuites et ou de déversements, de l'eau lourde par extraction de l'eau légère, lorsque la teneur en deutérium le justifie;
4) Extraction du tritium de l'eau lourde tritiée par distillation cryogénique, et immobilisation et stockage du tritium sur des hydrures métalliques;
5) Traitement d'une partie ou de la totalité des eaux industrielles et des eaux résiduaires radioactives par des filtres et des échangeurs d'ions pour éliminer les radionucléides en suspension ou dissous;
6) Traitement des eaux résiduaires radioactives par des évaporateurs mécaniques pour éliminer les radionucléides non volatils (par ex. autres que le tritium).

Dans les centrales CANDU existantes, les systèmes de gestion de l'eau lourde (prévention des fuites, recyclage, etc.) servent surtout à des fins d'économies (par ex. économiser l'eau lourde qui coûte de 250 à 300 $ le kg environ). Les systèmes de gestion de l'eau lourde sont en général conçus pour conserver le tritium à l'intérieur de la centrale. Un système d'élimination du tritium sur place où à l'extérieur réduirait davantage les rejets de tritium.

On utilise des échangeurs d'ions et des filtres pour maintenir la qualité des eaux industrielles dans les circuits reliés au modérateur (surtout le circuit du caloporteur), les travées de combustible épuisé et les systèmes de recyclage de l'eau lourde. Il existe des échangeurs d'ions et des filtres pour traiter les eaux résiduaires fortement radioactives avant de les rejeter dans le circuit d'eau de refroidissement sans recyclage. On pourrait aussi traiter les eaux résiduaires moins radioactives pour réduire davantage les rejets de radionucléides. Les évaporateurs avec épuration du distillat par échange d'ions permettraient d'éliminer les rejets de radionucléides non volatils et de réduire les volumes de

déchets radioactifs. Les concentrés des évaporateurs peuvent être fixés (par ex. par bituminisation) et transportés, avec les résines radioactives rejetées par les filtres et les échangeurs d'ions, au lieu de stockage des déchets radioactifs solides. L'évaporation est la technique la moins coûteuse pour l'élimination complète de tous les radionucléides non volatils contenus dans l'ensemble des volumes d'eaux résiduaires radioactives produites par une centrale.

4.2.1.13 Eaux vannes de l'équipement sanitaire
Recommandation R213
Les eaux vannes des centrales à vapeur devraient:
1) Être séparées des autres eaux usées de la centrale;
2) Subir un second traitement biologique lorsqu'elles ne sont pas dirigées vers une station municipale d'épuration des eaux d'égout.

Explication
Les volumes d'eaux vannes des centrales à vapeur sont restreints. Une fois séparées, les eaux vannes sont plus faciles à soumettre à un traitement biologique parce que la pollution par des déchets chimiques est évitée.

Éléments de conception
1) On pourrait utiliser différentes stations d'épuration des eaux vannes, vendues clés en main dans le commerce (boues activées, aération prolongée, etc.).
2) La capacité des installations d'épuration des eaux vannes devrait être prévue pour un maximum d'effectifs (par ex. travailleurs affectés à la construction).

Si les eaux usées de l'équipement sanitaire doivent être rejetées dans un système municipal d'épuration des eaux d'égout, la recommandation R213 (n^{o} 2) ne s'applique pas. Néanmoins, les eaux vannes de la centrale devraient être séparées des eaux usées industrielles.

4.2.2 Conséquences générales des recommandations. - Plusieurs des recommandations sur la conception des systèmes de traitement des eaux usées sont interdépendantes. L'objectif général est de réduire au minimum les volumes d'eaux usées et la quantité de polluants produits, de recueillir et de contrôler les effluents d'eaux usées et d'épurer les eaux usées avant de les rejeter, le cas échéant. En tenant compte de ces aspects dans la phase de conception et en prévoyant des installations de gestion et d'épuration des eaux usées pour la plupart des situations, on peut obtenir une bonne protection de l'environnement sans que cela entraîne de répercussion notable sur la conception, l'exploitation ou les coûts.

Des schémas de systèmes de gestion de l'eau et des eaux usées sont présentés à la figure 4.1 pour les centrales au charbon et à la figure 4.2 pour les centrales nucléaires CANDU. Plusieurs éléments de conception sont mentionnés:
1) Refroidissement par évaporation avec recyclage, avec un minimum de deux cycles de concentration (R202);
2) Circuit fermé intermédiaire de refroidissement auxiliaire (R203);
3) Systèmes de traitement des cendres volantes sèches et de traitement des cendres de fond avec recyclage (R204);
4) Système de désulfuration des gaz de carneau en circuit fermé (R205);
5) Réutilisation de l'eau de refroidissement auxiliaire comme eau brute d'alimentation (R206);
6) Aménagement modulaire, remblayage, terrassement et remise en état des lieux d'élimination physiquement stables, non indiqués aux figures 4.1 et 4.2 (R207);

7) Différentes installations de stockage non indiquées dans les figures 4.1 et 4.2 (R208, R209);
8) Mesures contre les fuites et la percolation dans le cas des réservoirs de combustible et des décharges (R210);
9) Différents systèmes de traitement (R211):
   a) Drainage des salles des turbines avec séparation des hydrocarbures;
   b) Systèmes de traitement des eaux de ruissellement des tas de charbon, des eaux de drainage de la salle des chaudières et des eaux de purge des systèmes de traitement des cendres de fond;
   c) Barrières de décantation et de retenue des hydrocarbures pour les drains de terrain;
10) Différents systèmes d'élimination des effluents radioactifs (R212):
   a) Élimination du tritium de l'eau lourde;
   b) Système de traitement des eaux usées radioactives (par ex. évaporation/fixation);
11) Épuration des eaux d'égout (R213).

Le choix du meilleur système de gestion de l'eau et des eaux usées dépendra de la qualité de l'eau brute, des procédés utilisés à la centrale et du jugement des concepteurs.

Lorsque les mesures appropriées sont prises au stade de la conception, l'importance de plusieurs recommandations concernant la conception et les méthodes devient moindre (par ex. mesures de collecte et stockage, mesures antipercolation, etc.). Il ne faudrait pas négliger l'exploitation, cependant, pour maintenir le bon fonctionnement des systèmes de traitement des eaux usées choisis. Si l'on envisage une centrale sans effluent, il faudra que l'exploitant redouble d'attention. Cet effort supplémentaire sur le plan de l'exploitation sera récompensé par des avantages certains là où l'eau est rare ou chère.

On prévoit que la consommation accrue d'énergie pour appliquer les recommandations en matière de conception et de méthodes sera minimale par rapport aux besoins en énergie de l'ensemble de la centrale et des systèmes de dépollution de l'air comme les systèmes de DGC. Il faudra des quantités relativement petites d'énergie pour le pompage des eaux usées et les procédés tels que l'addition de produits chimiques, la floculation, la clarification, etc. Les évaporateurs consomment beaucoup d'énergie. Le modèle d'évaporateur qui consomme le moins est le modèle à compression de vapeur.

Les recommandations concernant le contrôle des eaux usées sont présentées en 4.3. Les aspects économiques des méthodes de gestion des eaux usées à l'étude sont résumés au chapitre 6.

4.3 Surveillance

4.3.1 Recommandations, explications et éléments de conception. - Les paragraphes qui suivent contiennent des recommandations sur la conception et la planification générales des installations de surveillance (R301), sur la surveillance des systèmes de refroidissement à passage unique (R302, R303, R308), des eaux usées (R304, R305) et des eaux souterraines (R306, R307). On y trouve des recommandations sur les installations de collecte et d'enregistrement des données (R309). Les raisons qui justifient les recommandations ainsi que les moyens possibles de mise en application sont également exposés.

4.3.1.1 Accès aux instruments de surveillance

Recommandation R301

Les contrôleurs de débit, les moniteurs installés en permanence et les instruments d'échantillonnage choisis pour la surveillance de l'environnement devraient être situés en des points appropriés, d'accès sûr.

Explication
La présente recommandation porte sur le choix de points techniquement appropriés et d'accès sûr pour les instruments de surveillance pendant la phase de conception.

Éléments de conception
Les instruments de surveillance peuvent être facilement localisés en des points appropriés, d'accès sûr, choisis au stade de la conception; cela peut s'avérer plus difficile au stade de l'exploitation. Pour choisir de bons endroits pour ces instruments, on peut tenir compte des facteurs suivants:
1) Le genre d'utilisation et d'entretien rattachés à l'instrument;
2) L'accès et la sécurité des préposés à l'instrument;
3) Les précautions à prendre aux points d'échantillonnage manuel exposés à de hautes pressions et à des substances dangereuses.

4.3.1.2 Moniteurs de systèmes de refroidissement à passage unique
Recommandation R302
Pour les systèmes de refroidissement à passage unique, il faudrait prévoir:
1) La surveillance régulière des débits des condenseurs et du système de refroidissement auxiliaire;
2) La surveillance régulière de la température à la prise d'eau, à la sortie des condenseurs et à la sortie des échangeurs de chaleur auxiliaires;
3) La surveillance continue du chlore résiduel total (CRT) à la sortie des condenseurs et des échangeurs de chaleur lorsqu'on utilise du chlore;
4) Le prélèvement d'échantillons instantanés à la sortie de chaque condenseur et à la sortie du système de refroidissement auxiliaire.

Explication
Les volumes des prélèvements d'eau de refroidissement et leurs températures absolue et différentielle sont des facteurs d'intérêt pour l'environnement (voir R113). Le CRT à la sortie des condenseurs et de la centrale devrait être surveillé dans le cadre d'un programme de réduction au minimum du chlore résiduel (voir R111).

Éléments de conception
Les techniques suivantes pourraient être utilisées.
1) Différentes techniques de surveillance des débits sont possibles. Par exemple, un relevé continu de la pression à la sortie des pompes et/ou une minuterie commandant le moteur des pompes en fonction de courbes caractéristiques (débit en fonction de la pression) d'une pompe étalonnée permettront d'évaluer le débit. Une pompe peut être étalonnée régulièrement au moyen de techniques à base de traceurs. Un traceur est injecté à un débit connu en amont, côté aspiration de la pompe; une teneur représentative en traceur en aval de la pompe permettra de calculer le débit de la pompe.
2) Des dispositifs de mesure de la température comme des thermocouples dans des puits thermiques pourraient être prévus.
3) Il existe dans le commerce des cellules ampérométriques d'analyse continue du CRT reliées à des enregistreurs qui peuvent être utilisés pour surveiller dans une boucle de rétroaction le système d'alimentation en chlore.

4.3.1.3 Échantillonnage des organismes aquatiques

Recommandation R303

Il faudrait prévoir un échantillonnage biologique régulier dans les systèmes de refroidissement à passage unique, notamment:

1) Dans la conduite d'amenée de l'eau de refroidissement;
2) Dans la conduite de restitution de l'eau de refroidissement;
3) Dans les voies de dérivation du poisson.

Explication

La mise en pratique de la présente recommandation facilitera la surveillance saisonnière régulière des mesures de protection des organismes aquatiques dans le système de refroidissement à passage unique (voir R109, R113, R114 et R116).

Éléments de conception

Des instruments installés en permanence ne sont habituellement pas nécessaires, mais il faudrait ménager des accès pour prélever des échantillons biologiques représentatifs.

1) L'échantillonnage biologique peut être effectué au moyen de filets à mailles de différentes tailles pour différents organismes aquatiques.

2) Il peut être utile d'installer des filets sur toute la largeur en travers du bief amont, vis-à-vis de l'aire d'aspiration, et en travers du bief aval, vis-à-vis de l'aire de restitution, pour l'échantillonnage des espèces de poissons nageant librement qui sont capables d'éviter les filets.

3) Un puits ou une section de canal à ciel ouvert en amont d'une sortie de restitution immergée au large permettra d'accéder à ces endroits.

4.3.1.4 Surveillance des effluents d'eaux usées

Recommandation R304

Les eaux usées rejetées dans des conditions normales ou d'urgence dans un système de refroidissement à passage unique, dans un réseau municipal d'égouts ou directement dans les eaux réceptrices locales devraient faire l'objet de:

1) Un échantillonnage représentatif;
2) Un échantillonnage continu permettant de calculer à 10 p. 100 près le débit ou le volume total des rejets pendant une période donnée;
3) Une surveillance directe et continue du pH, du chlore résiduel total et d'autres paramètres appropriés.

Explication

Des moyens de surveillance précise des rejets de polluants dans l'environnement sont prévus.

Éléments de conception

Voici certains facteurs à considérer.

1) Des échantillons instantanés, prélevés manuellement, conviennent à la surveillance des effluents dont la composition est peu variable.

2) Pour la surveillance d'autres types d'effluents, il existe dans le commerce des préleveurs en continu d'échantillons moyens et des préleveurs séquentiels. Les préleveurs d'échantillons proportionnels de débit sont souvent utilisés.

3) Les points d'échantillonnage des matières en suspension et des huiles et graisses devraient être situés si possible dans des zones de turbulence favorisant le mélange.

4) Des débitmètres précis à 10 p. 100 près peuvent être installés dans des conduites fermées; ils peuvent être: à variation de pression (à diaphragme, venturi, annulaires à lecture moyenne); à compteur de temps écoulé sur des pompes à mouvement rectiligne alternatif; volumétriques (à turbine, à aubes); ou de type imblocable (électromagnétique

et à ultrasons). Les débitmètres pour canal ouvert comprennent des déversoirs (rectangulaires) et des canaux Parshall. Des compteurs d'eau totalisateurs devraient être fournis avec les débitmètres de lecture instantanée. En canal ouvert, il est peu probable que la précision atteigne ± 10 p. 100.
5) Dans le choix d'un débitmètre, il faut tenir compte de l'éventail complet des débits prévus; par exemple, les débitmètres à diaphragme ne sont pas efficaces dans le cas des écoulements à surface libre.
6) Il existe dans le commerce des moniteurs de pH et de CRT à lecture continue et en direct.

4.3.1.5 Surveillance des eaux utilisées dans la centrale

Recommandation R305
Il faudrait prévoir pour l'eau brute d'appoint, les eaux industrielles, les eaux de service de la centrale et les effluents, avant tout mélange avec d'autres eaux:
1) Un échantillonnage occasionnel des différents volumes d'eau transportés;
2) Une surveillance périodique des débits des différents volumes d'eau transportés.

Explication
La présente recommandation prévoit la vérification des hypothèses de conception et l'optimisation du fonctionnement des systèmes de gestion de l'eau et des eaux usées.

Éléments de conception
Si les effluents d'eaux usées ont beaucoup d'importance sur le plan de l'environnement, les différents systèmes de transport de l'eau dans la centrale, parce qu'ils sont à l'origine de ces effluents, présentent beaucoup d'intérêt du point de vue de la conception et de l'exploitation. Même si le choix des emplacements appropriés doit être fonction des systèmes et question de jugement, il serait utile de surveiller:
1) Le débit et la qualité de l'eau brute d'appoint;
2) Les débits d'eau pour les joints de pompes;
3) Les débits d'eaux industrielles d'appoint (par ex. pour le transport des cendres humides, la DGC, la tour ou l'étang de refroidissement);
4) Les débits d'eau pour combattre les incendies, les débits des eaux de lavage des planchers et de l'équipement, les débits d'eau des fosses d'aisances, etc.;
5) Les débits et la qualité des eaux de purge et de trop-plein pour les différentes étapes de traitement (par ex. le transport des cendres humides, la tour ou l'étang de refroidissement);
6) Les volumes et la qualité des effluents périodiques (l'eau de nettoyage des chaudières, les effluents radioactifs, etc.).

Des données fiables sur l'utilisation de l'eau pendant l'exploitation aideront à optimiser le fonctionnement d'un système existant et la conception des systèmes futurs.

4.3.1.6 Surveillance des eaux souterraines

Recommandation R306
Dans le secteur des lieux affectés au stockage des combustibles solides et des lieux affectés au stockage et à l'élimination des déchets solides et des eaux usées, il faudrait prévoir un réseau de piézomètres et de puits permettant de surveiller la qualité, la quantité et la direction d'écoulement des eaux souterraines.

Explication
La présente recommandation prévoit des moyens pour surveiller en permanence la migration des polluants dans les eaux souterraines.

Éléments de conception
L'emplacement, la profondeur et le nombre de piézomètres et de puits d'échantillonnage dépendront des caractéristiques hydrogéologiques de chaque emplacement (voir R210). Les piézomètres indiqueront la pression hydrostatique des eaux souterraines à une profondeur donnée; le réseau de piézomètres indiquera la direction de l'écoulement et facilitera l'estimation de la vitesse d'écoulement des eaux souterraines. Les puits d'échantillonnage et/ou les piézomètres faciliteront la surveillance de la pollution des eaux souterraines. Dans de nombreux cas, des piézomètres peuvent aussi être utilisés pour obtenir des échantillons d'eau souterraine. Voici certaines suggestions pour la conception des systèmes de surveillance des eaux souterraines.

1) Au moins un piézomètre et un puits devraient être situés en amont de l'emplacement par rapport à l'écoulement des eaux souterraines.
2) Au moins un piézomètre et un puits devraient être installés dans le périmètre du lieu d'élimination ou de stockage, avant même l'utilisation de ce lieu.
3) Au moins trois piézomètres et trois puits devraient être situés en aval de l'emplacement par rapport à l'écoulement des eaux souterraines, c.-à-d. sur la trajectoire éventuelle du panache de percolat.
4) L'anneau entre la paroi du trou foré et la crépine au fond du piézomètre/puits devrait être rempli de sable et de gravier; le reste de l'anneau devrait être rempli de ciment ou de coulis, et le sommet, fermé.
5) Les moniteurs devraient être protégés contre toute intrusion ou tout acte de vandalisme.
6) Des pompes immergées pourraient être installées dans les puits de surveillance pour s'assurer que les échantillons soient représentatifs (c.-à-d. pour chasser l'eau accumulée dans le puits).

4.3.1.7 Surveillance des eaux souterraines avant l'entrée en activité

Recommandation R307

Un programme de surveillance avant-exploitation du régime des eaux souterraines susceptible d'être modifié par l'exploitation de la centrale devrait être établi un an avant la construction de cette dernière.

Explication
Des données de base sur la qualité, le volume et la direction d'écoulement des eaux souterraines seront recueillies de façon que tout changement causé par la migration du percolat provenant de combustibles ou de déchets puisse être décelé pendant la construction, pendant l'exploitation et après l'exploitation de la centrale.

Éléments de conception
La recommandation R306 porte sur des moyens de surveillance avant-exploitation. Pour l'analyse du programme de surveillance avant-exploitation, il faudrait établir quels seront les polluants importants pour l'environnement en fonction du type de matière qui sera stockée ou éliminée.

4.3.1.8 Surveillance du milieu aquatique avant l'entrée en activité

Recommandation R308

Un programme de surveillance avant-exploitation du milieu aquatique récepteur devrait être établi au moins un an avant le début de la construction de la centrale. Ce programme devrait:

1) Déterminer les points de surveillance permanente;
2) Définir des méthodes d'échantillonnage et d'analyse dont les paramètres sont reliés à l'exploitation de la centrale;

3) Établir la qualité de base des eaux réceptrices;
4) Préciser les caractéristiques de base des sédiments aquatiques;
5) Définir les conditions de base du biote par rapport aux variations saisonnières influant sur les populations, les espèces, le taux de croissance, l'habitat et la reproduction.

Explication
Les incidences sur le milieu aquatique de l'exploitation d'une centrale ne peuvent être décelés que si l'on dispose de données de base appropriées. L'écosystème aquatique comporte un éventail d'éléments dont l'interaction est complexe et souvent mal comprise. Les paramètres de qualité de l'eau peuvent renseigner sur les effets de l'exploitation (pH, température, oxygène dissout, matières en suspension, matières dissoutes et polluants reliés à la production d'électricité tels que métaux, radionucléides, etc.). Les sédiments peuvent absorber les métaux lourds et d'autres déchets de la centrale, et ils peuvent renseigner sur le stress écologique. Les organismes benthiques (habitant les fonds marins) sont relativement immobiles et ne peuvent fuire les endroits pollués. Les organismes du périphyton (qui vivent sur la surface de substrats sous-marins tels que pierres et plantes) sont des producteurs primaires dans la chaîne alimentaire, et certains sont relativement immobiles. Le plancton (organismes microscopiques en grande partie) peut difficilement se mouvoir et il dérive au fil du courant. L'ichthyoplancton (oeufs et larves de poisson) peut être entraîné avec l'eau aspirée. Les effets nocifs possibles à long terme sur le poisson sont indiqués par des changements dans la diversité et les caractéristiques des populations. Les macrophytes (plantes à racines) peuvent devenir envahissantes en présence d'effluents chauds et d'éléments nutritifs. Présents à des teneurs même faibles dans le milieu aquatique, les métaux et les radionucléides peuvent s'accumuler dans le poisson, ce qui dénote un stress écologique. Des données de base recueillies un an avant la construction permettront de déceler des changements écologiques dus à la construction et au fonctionnement de la centrale (voir R113 et R114).

Éléments de conception
La nature, la provenance et le nombre des échantillons seront fonction des caractéristiques de l'eau et du biote de chaque endroit. Les méthodes suivantes sont suggérées:
1) Établir un réseau de transects pour l'échantillonnage de l'eau et du biote;
2) Délimiter des aires d'intérêt biologique unique;
3) Préciser les polluants d'intérêt écologique en fonction du type de centrale (à combustible fossile ou nucléaire);
4) Déterminer les variations saisonnières dans le biote aquatique (voir R113);
5) Documenter les méthodes d'échantillonnage et d'analyse et les résultats de base;
6) Faire une étude d'environnement juste avant l'entrée en activité de la centrale pour déterminer les incidences ultérieures de la construction.

4.3.1.9 Laboratoire et salle de régie

Recommandation R309
Les installations de laboratoire, de régie et d'enregistrement des données devraient être aménagées de façon que:
1) Les paramètres d'intérêt écologique dans les échantillons d'eau et d'eaux usées puissent être analysés rapidement;
2) Les fluctuations des paramètres d'intérêt écologique mesurées par des instruments installés en permanence puissent être communiquées dans une salle de régie centrale;
3) Les valeurs des paramètres d'intérêt écologique puissent être enregistrées de façon à être facilement accessibles.

Explication
Les données sur les températures et les débits sont importantes dans les systèmes de refroidissement à passage unique (voir les recommandations de la série 100). En outre, certains paramètres de qualité concernant les effluents d'eaux usées sont importants (voir R211). Une fois évalués rapidement et enregistrés, ces paramètres renseigneront sur la performance de la centrale du point de vue écologique. Les fluctuations des paramètres des effluents (température, pH, etc.) permettront aux exploitants de la centrale de prendre rapidement des mesures correctives.

Éléments de conception
1) Les laboratoires des centrales sont dotés de moyens pour analyser les paramètres classiques de la qualité de l'eau (pH, oxygène dissous, matières en suspension, matières dissoutes, etc.). Il pourrait s'avérer utile de doter les laboratoires de moyens d'analyse (par ex. des appareils d'absorption atomique) des paramètres énumérés dans la recommandation R211 si l'on anticipe que les conditions ne seront pas respectées, plutôt que d'expédier des échantillons dans des laboratoires mieux équipés.
2) La salle de régie de la centrale est équipée d'un système d'alarme pour indiquer les fluctuations dans les traitements ou les défaillances de l'équipement (panne de moteur, blocage d'une vanne, excès de température, etc.). Si le pH d'un effluent d'eaux usées est trop élevé, un moniteur de pH installé en permanence pourrait être relié à la salle de régie et, lorsque le pH dépasserait une valeur déterminée, un signal d'alarme l'indiquerait.
3) Les paramètres de fonctionnement et l'état de l'équipement sont notés régulièrement dans un registre central, dans les centrales modernes. Des mesures directes des paramètres d'intérêt écologique (débits, températures, etc.) pourraient aussi être enregistrées. Les données des analyses de laboratoire pourraient être mises en mémoire et extraites par un préposé au traitement des données. Tout cela faciliterait la préparation de rapports sur l'environnement.

4.3.2 Conséquences générales des recommandations. - Des moyens de surveillance et de contrôle relativement simples et peu coûteux, prévus au stade de la conception, aideront à évaluer la performance de la centrale du point de vue de la protection de l'environnement et aideront aussi les responsables de l'exploitation à optimiser les systèmes de gestion de l'eau et des eaux usées.

Les figures 4.1 et 4.2 décrivent des dispositifs mentionnés dans certaines recommandations de la série 300: débitmètres et préleveurs d'échantillons moyens des effluents et échantillonneurs de surveillance de la qualité des eaux souterraines. Le contenu des autres recommandations de la série ne pouvait trouver place dans ces schémas.

Les répercussions des recommandations de la série 300 sur l'exploitation pourraient être considérables si les employés devaient échantillonner et analyser différents effluents et enregistrer leurs volumes cumulés. Il est recommandé de revoir périodiquement les exigences des services de protection de l'environnement concernant les rapports à fournir. La fréquence et l'étendue des rapports pourraient diminuer à mesure qu'on recueillera des données et qu'on acquerra de l'expérience.

Les coûts en énergie et en capital des recommandations de la série 300 sont faibles par rapport aux coûts de la centrale entière.

5 RÉSUMÉ DES RECOMMANDATIONS

Les tableaux 5.1, 5.2 et 5.3 résument les éléments de conception et les méthodes recommandées pour le Code de la phase de conception. Pour plus de détails, il faut se reporter au texte complet des recommandations, au chapitre 4. Les tableaux 5.1, 5.2 et 5.3 renvoient aux subdivisions du chapitre 4 et aux sections des annexes D, E et F qui comportent plus de détails sur le fondement des recommandations. Ces tableaux donnent au lecteur un aperçu des orientations recommandées en matière de gestion de l'eau et des déchets pour les futures centrales à vapeur.

Tableau 5.1
Résumé des recommandations portant sur les systèmes de refroidissement à passage unique (série 100)

N°	Objet	Résumé	Références
Minimisation des quantités d'organismes vivants piégés et entraînés			
R101	**Prélèvement total d'eau de refroidissement** - Limites de volume	Moins de: 1) 10 p. 100 du volume des eaux littorales dans un rayon de 50 km; 2) 5 p. 100 du volume total des eaux du lac ou du réservoir; 3) 10 p. 100 du débit moyen du cours d'eau; à moins de prouver que d'autres solutions sont meilleures.	4.1.1.1 D.4.2
R102	**Prélèvement d'eau de refroidissement auxiliaire** - Limites de volume	Prévoir: 1) Un prélèvement le plus petit possible; 2) La réutilisation possible des effluents; à moins de prouver que d'autres solutions sont meilleures.	4.1.1.2 D.4.2
R103	**Système de pompage de l'eau de refroidissement** - Régularisation des débits	Étudier la possibilité d'utiliser: 1) Un plus grand nombre de petites pompes; 2) Des robinets-vannes de régularisation des débits aux pompes ou condenseurs.	4.1.1.3 D.4.2
R104	**Arrêts de production** - Calendrier (voir R113)	Prévoir, dans la mesure du possible, des arrêts à l'époque des concentrations maximales d'ichthyoplancton (oeufs et larves de poisson) piégé dans la prise.	4.1.1.4 D.4.2
R105	**Ouvrage de prise d'eau** - Emplacement	Situer l'entrée au large, au-delà de la zone littorale proche, à moins de prouver que d'autres solutions sont meilleures.	4.1.1.5 D.4.3
R106	**Point d'amenée/point de restitution** - Emplacements	Situer l'entrée et l'exutoire: 1) De façon à minimiser le retour des effluents dans la prise; 2) De sorte qu'une prise à terre s'avance plus loin dans l'eau que l'exutoire; à moins que de prouver que d'autres solutions sont meilleures.	4.1.1.6 D.4.3
R107	**Conception du seuil d'entrée de la prise d'eau** - Choix du modèle	Choisir une entrée immergée au large, disposée à l'horizontale et munie d'un chapeau hydrodynamique, à moins de prouver qu'une autre solution est meilleure.	4.1.1.7 D.4.4
R108	**Seuil d'entrée en bordure de rive** - Emplacement	1) À fleur de la ligne de rive; 2) Dans un secteur sans saillie ni retrait.	4.1.1.8 D.4.4
R109	**Aménagement de la prise d'eau** - Voies de dérivation du poisson et vitesse d'écoulement	Prévoir: 1) L'aménagement immédiat ou ultérieur de voies de dérivation et de retour du poisson; 2) Une vitesse d'écoulement horizontal inférieure à 15 cm/s.	4.1.1.9 D.4.4
Minimisation des dommages causés aux organismes vivants piégés et entraînés			
R110	**Pompes à eau de refroidissement** - Critères de sélection	Tenir compte des risques de dommages aux organismes aquatiques dans le choix du type et du nombre de pompes.	4.1.1.10 D.5.2
R111	**Lutte contre le bio-encrassement** - Options/conception	1) Éviter l'utilisation de produits chimiques, si possible; 2) Dans le cas contraire, réduire au minimum les additions; 3) Concevoir un système de contrôle des additions; 4) Limiter les additions à un seul condenseur à la fois pendant le jour.	4.1.1.11 D.5.3

Tableau 5.1 (suite)

N°	Objet	Résumé	Références
R112	**Lutte contre la corrosion, l'entartrage et l'envasement** - Options/conception	1) Éviter l'utilisation de produits chimiques, si possible; 2) Dans le cas contraire, choisir des produits non dangereux pour l'environnement; 3) Concevoir un système de contrôle des additions; 4) Étudier la possibilité d'un nettoyage en discontinu des condenseurs, des échangeurs de chaleur et des installations de traitement des déchets.	4.1.1.12 D.5.3
Minimisation des effets nocifs des effluents chauds			
R113	**Température à la sortie des condenseurs** - Critères	1) Inférieure de 2 °C aux températures létales pour les espèces aquatiques entraînées; 2) Réduire le débit au minimum si des espèces aquatiques périssent des suites de contraintes physiques ou chimiques; 3) Établir une courbe des températures annuelles pour déterminer les maximums saisonniers admissibles à la sortie.	4.1.1.13 D.5.4
R114	**Panache thermique** - Limites de l'aire d'influence	Limiter l'aire d'influence (isotherme de 1 °C) à une superficie inférieure à: 1) 10 p. 100 de la zone littorale dans un rayon de 50 km pour un lac; 2) 10 p. 100 de la zone littorale dans un rayon de 50 km en aval d'un cours d'eau; 3) 10 p. 100 de la superficie totale d'un réservoir; 4) 50 p. 100 de la largeur d'un cours d'eau, d'un lac ou d'un réservoir; à moins de prouver que d'autres solutions sont meilleures.	4.1.1.14 D.6.1
R115	**Ouvrage de restitution** - Emplacement et modèle	Aménager: 1) La sortie au-delà de la zone littorale de façon que les effluents s'éloignent de la rive; 2) Une galerie souterraine menant à la sortie de restitution; à moins de prouver que d'autres solutions sont meilleures.	4.1.1.15 D.6.2
R116	**Refroidissement supplémentaire** - Limites	Ne pas utiliser des systèmes "supplémentaires" pour refroidir les effluents chauds, à moins de prouver que cette solution est la meilleure.	4.1.1.16 D.6.3

Tableau 5.2
Résumé des recommandations portant sur le traitement des eaux usées (séries 200)

Nº	Objet	Résumé	Références
Réduction des quantités d'eaux usées et de polluants			
R201	**Refroidissement par évaporation avec recyclage** - Matériaux de construction et utilisation de produits chimiques	1) Éviter les produits chimiques, si possible; 2) Ne pas utiliser des matériaux à base d'amiante dans les tours de refroidissement; 3) Ne pas utiliser des composés à base de chrome dans les étangs de refroidissement; 4) S'il faut utiliser des produits chimiques, concevoir un système de contrôle des additions.	4.2.1.1 E.3.1
R202	**Refroidissement par évaporation avec recyclage** - Conception et exploitation	1) Un minimum de 2 cycles de concentration; 2) Une alimentation d'appoint passant par les refroidisseurs auxiliaires, si possible.	4.2.1.2 E.3.2
R203	**Refroidissement auxiliaire** - Conception	Prévoir un circuit de recyclage intermédiaire entre les circuits de refroidissement à passage unique et auxiliaire ou utiliser une autre méthode pour éviter la pollution accidentelle.	4.2.1.3 E.3.2
R204	**Traitement des cendres** - Choix des systèmes	Choisir: 1) Un système à cendres volantes sèches; 2) Un système à cendres de fond avec recyclage; à moins de prouver que d'autres solutions produisent moins d'effluents.	4.2.1.4 E.3.2
R205	**Désulfuration des gaz de carneau (DGC)** - Choix et conception	Choisir ou concevoir un système de traitement des eaux usées sans effluent dans la mesure du possible.	4.2.1.5 E.3.2
R206	**Réutilisation de l'eau** - Conception	Si possible, prévoir: 1) La réutilisation des effluents de refroidissement auxiliaire; 2) La réutilisation d'autres effluents.	4.2.1.6 E.3.3
R207	**Décharges contrôlées** - Aménagement et désaffectation	Prévoir des décharges à cendres, à déchets de DGC et à rebuts: 1) Aménageables de façon modulaire au fil des ans; 2) Dont la stabilité chimique et physique permet une réutilisation des lieux; 3) Entretenues par des travaux de terrassement et de remblayage; 4) Dont les terrains seront restaurés avant la désaffectation.	4.2.1.7 E.3.4
Stockage des eaux usées et des déchets			
R208	**Séparation et stockage des eaux usées et autres déchets liquides** - Collecte et stockage	Prévoir: 1) Le stockage de toutes les eaux usées; 2) Le regroupement des effluents semblables; 3) Le stockage séparé des déchets dangereux (PCB, déchets de nettoyage des métaux, déchets radioactifs); 4) Le stockage séparé des gros volumes de produits chimiques incompatibles.	4.2.1.8 E.4.1
R209	**Capacité de stockage des eaux usées et autres déchets liquides** - Mesures de prévention	Prévoir des installations capables de contenir les volumes normaux d'effluents et: 1) La quantité maximale d'effluents produits en 24 heures; 2) La quantité maximale d'effluents produits en cas de fuite ou de déversement; 3) Ou en cas de: précipitations de 24 heures (1 fois en 100 ans) dans des installations extérieures.	4.2.1.9 E.4.3a

Tableau 5.2 (suite)

Nº	Objet	Résumé	Références
R210	**Mesures contre la percolation** - Perméabilité requise	S'assurer qu'il existe entre le fond de la décharge et la nappe aquifère sous-jacente une barrière naturelle ou artificielle dont la résistance à la percolation est équivalente à une épaisseur d'au moins un mètre de matériau ayant les caractéristiques de perméabilité suivantes: 1) Percolation de 1 x 10^{-7} cm/s pour les tas de charbon titrant plus de 1 p. 100 de soufre (S), les produits chimiques et radioactifs; 2) Percolation de 5 x 10^{-7} cm/s pour les étangs à cendres et à déchets de DGC; 3) Percolation de 1 x 10^{-6} cm/s pour les tas de charbon titrant moins de 1 p. 100 de S, les décharges à cendres sèches* et à déchets secs de DGC; 4) Percolation de 1 x 10^{-5} cm/s pour les autres décharges. * Sauf pour les cendres dans les mines	4.2.1.10 E.4.3b
Traitement des eaux usées avant rejet			
R211	**Effluents d'eaux usées** - Normes de qualité	Faire en sorte que les teneurs des eaux usées acheminées dans les systèmes de refroidissement à passage unique ou dans les eaux réceptrices ne dépassent pas: pH 6,5 à 9,5 Fe 1,0 mg/l Cr, Cu, Ni, Zn 0,5 mg/l Cr (hexa) 0,05 mg/l Matières totales en suspension 25 mg/l Huiles et graisses 15 mg/l CRT 0,2 mg/l	4.2.1.11 E.5.5
R212	**Eaux résiduaires radioactives** - Gestion	Envisager d'autres méthodes de traitement des eaux résiduaires radioactives pour minimiser davantage les rejets de radionucléides dans le système de refroidissement à passage unique ou dans les eaux réceptrices.	4.2.1.12 E.5.6
R213	**Eaux-vannes** - Épuration	Prévoir: 1) Leur séparation des autres eaux usées; 2) Un traitement biologique secondaire si les effluents ne sont pas traités dans une station d'épuration municipale.	4.2.1.13 E.5.7

Tableau 5.3
Résumé des recommandations portant sur la surveillance et le contrôle (série 300)

No	Objet	Résumé	Références
R301	**Instruments de surveillance** - Accès	Faire en sorte que les instruments soient d'accès et d'utilisation sûrs.	4.3.1.1 F.1
R302	**Systèmes de refroidissement à passage unique** - Moniteurs en continu	Prévoir: 1) Des moniteurs de débit et de température en continu et l'échantillonnage instantané des circuits de refroidissement à passage unique et de refroidissement auxiliaire; 2) Des mesures du CRT à la sortie du condenseur et des échangeurs de chaleur si on utilise du chlore.	4.3.1.2 F.2.2
R303	**Échantillonnage des organismes aquatiques** - Surveillance	Prévoir un échantillonnage biologique périodique à l'entrée et à la sortie du système de refroidissement et dans les voies de dérivation du poisson.	4.3.1.3 F.2.2
R304	**Effluents d'eaux usées** - Surveillance	Prévoir: 1) Un échantillonnage représentatif; 2) Des débimètres intégrés (précis à 10 p. 100); 3) Des moniteurs de pH, de CRT et d'autres moniteurs de surveillance directe.	4.3.1.4 F.3.2
R305	**Eaux utilisées dans la centrale** - Surveillance	Prévoir la possibilité de débimètres et d'échantillonneurs pour les eaux utilisées dans la centrale.	4.3.1.5 F.3.2
R306	**Eaux souterraines** - Surveillance	Installer un réseau de piézomètres et de puits permanents dans le secteur occupé par les installations de stockage du charbon et par les décharges.	4.3.1.6 F.4.2
R307	**Eaux souterraines** - Surveillance avant-exploitation	Entreprendre une surveillance avant-exploitation au moins 1 an avant la construction.	4.3.1.7 F.4.2
R308	**Milieu aquatique** - Surveillance avant-exploitation	Entreprendre une surveillance avant-exploitation au moins 1 an avant la construction pour établir une base de données sur le biote, la qualité de l'eau et les sédiments.	4.3.1.8 F.5.3
R309	**Laboratoire et salle de régie** - Données sur l'environnement	Fournir des moyens appropriés d'analyse, d'alarme, d'enregistrement et d'utilisation des données.	4.3.1.9 F.6.2

6 COÛTS ET CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES DE L'APPLICATION DES RECOMMANDATIONS

L'application des recommandations du Code de la phase de conception en matière de conception et de méthodes entraînera des coûts additionnels pour les entreprises de production d'électricité en ce qui a trait à la construction et à l'exploitation des nouvelles centrales à vapeur et des centrales modifiées. Ces coûts supplémentaires seront défrayés ultimement par les consommateurs d'électricité. Pour donner une idée de l'ampleur relative de ces coûts, on a effectué une analyse financière qui est présentée à l'annexe G. On a aussi évalué le coût des techniques de réduction des rejets de radionucléides, même si aucune condition précise n'a été recommandée.

On utilise un modèle "de base" pour estimer le coût supplémentaire des recommandations du Code de la phase de conception. Il est difficile d'établir un modèle de base car de nombreuses centrales canadiennes présentent des caractéristiques de conception qui respectent certaines de ces recommandations. Il est possible que quelques-unes de ces caractéristiques aient été choisies pour des raisons financières et techniques plutôt que pour des raisons d'ordre purement écologique (par ex. le système de traitement des cendres volantes sèches, le système intermédiaire de refroidissement auxiliaire en circuit fermé, etc.). L'évaluation des coûts et des incidences repose sur des hypothèses prudentes qui peuvent donner lieu à une surestimation des coûts.

En général, l'évaluation de ces coûts a consisté à:

1) Supposer des modèles généraux de base valant pour différents types de combustible (charbon, nucléaire) et différentes régions (est, centre, ouest du Canada);
2) Supposer différentes caractéristiques additionnelles de protection de l'environnement;
3) Relever dans la documentation et d'autres sources des estimations des coûts de ces caractéristiques et tenter de ramener ces coûts à une base commune (par ex. en dollars canadiens de 1983, inflation de 12 p. 100 par année, taux d'intérêt sur le capital de 10 p. 100, nombre de millièmes de dollars/kWh, etc.);
4) Calculer les coûts supplémentaires des caractéristiques recommandées en termes d'augmentation du coût de l'électricité pour l'entreprise de services publics et d'augmentation du prix de l'électricité pour le consommateur (besoins en revenu annuel moyen: 40 millièmes de dollars/kWh est le prix de base présumé à la consommation; 25 p. 100 de la production d'électricité de l'entreprise des services publics est fourni par la centrale; etc.).

Les caractéristiques des modèles "généraux" de centrale sont présentées au tableau 6.1. On a supposé que les centrales à combustible fossile utilisant des charbons de différentes teneurs en soufre et en cendres desservaient l'est, le centre et l'ouest du Canada et que les centrales nucléaires CANDU desservaient l'est et le centre du Canada.

Des estimations des coûts supplémentaires pour la centrale et pour le consommateur sont présentées au tableau 6.2. Par exemple, le coût supplémentaire total pour le consommateur varierait entre un minimum de 0,2 p. 100 environ pour une centrale au charbon, sans désulfuration des gaz de carneau, située dans l'Ouest et un maximum de 2,5 p. 100 environ pour une nouvelle centrale au charbon, avec désulfuration des gaz de carneau et refroidissement par évaporation avec recyclage. En réalité, pour la plupart des nouvelles centrales, le coût supplémentaire pour le consommateur serait inférieur à environ 1 p. 100. Même si aucune condition spécifique de contrôle des radionucléides n'a été recommandée, le tableau 6.2 indique que le coût supplémentaire des techniques disponibles seraient de l'ordre de 0,3 p. 100 pour le consommateur.

Une évaluation indépendante des coûts qu'entraînerait l'application du Code de la phase de conception a été effectué et les résultats corroborent en général les données

Tableau 6.1
Principales caractéristiques de centrales à vapeur types de 1000 MW

Modèle	Caractéristiques
1) Est du Canada Centrale au charbon - avec et sans désulfuration des gaz de carneau* - 5 % S, 8 % C, 30 MJ/kg**	Refroidissement à passage unique, entrée et sortie au large Voie de dérivation du poisson, déchloration Circuit fermé intermédiaire de refroidissement auxiliaire Cendres volantes sèches, cendres de fond avec recyclage Installations de stockage et de lutte contre la percolation Traitement des eaux usées et des eaux-vannes
2) Centre du Canada Centrale au charbon - avec et sans désulfuration des gaz de carneau* - 2 % S, 10 % C, 28 MJ/kg	Refroidissement par évaporation avec recyclage, déchloration Circuit fermé intermédiaire de refroidissement auxiliaire Cendres volantes sèches, cendres de fond avec recyclage Installations de stockage et de lutte contre la percolation Traitement des eaux usées et des eaux-vannes
3) Est et centre du Canada Centrale nucléaire - avec et sans traitement des eaux usées radioactives et élimination du tritium (prévue mais non spécifiquement recommandée)	Refroidissement à passage unique, entrée et sortie au large Voie de dérivation du poisson, déchloration Circuit fermé intermédiaire de refroidissement auxiliaire Traitement classique des eaux usées (traitement des eaux usées radioactives) (élimination du tritium) Épuration des eaux-vannes
4a) Ouest du Canada Centrale au charbon - 0,2 % S, 15 % C, 21 MJ/kg	Refroidissement par évaporation avec recyclage (modèle de base) Déchloration Circuit fermé intermédiaire de refroidissement auxiliaire Cendres volantes sèches, cendres de fond avec recyclage Installation de stockage et de lutte contre la percolation Traitement des eaux usées et des eaux-vannes
4b) Ouest du Canada Centrale au charbon - 0,2 % S, 15 % C, 21 MJ/kg	Même que 4a) mais avec traitement des eaux usées sans effluent (prévu mais non spécifiquement recommandé)

* Désulfuration des gaz de carneau exigée dans les *Directives nationales sur les émissions des nouvelles centrales thermiques.*

** S = (teneur en) soufre; C = (teneur en) cendres; MJ/kg = pouvoir calorifique moyen.

Tableau 6.2
Évaluation des coûts des recommandations du Code de la phase de conception pour des modèles généraux de centrales de 100 MW

Modèle	Coût de production annuel (millièmes de dollars/kWh)	Augmentation totale des BRAM[a] pour la production (millièmes de dollars/kWh)	Augmentation totale des BRAM[a] en pourcentage du coût de production annuel (%)	Augmentation totale des BRAM[a] ramenée à 25 % (millièmes de dollars/kWh)	Augmentation du tarif pour le consommateur (%)
Pour respecter les recommandations du Code de la phase de conception:					
1) Est du Canada Centrale au charbon					
- avec DGC[d]	69 - 133	1,43 -3,17	1,1 - 4,6	0,36 -0,79	0,9 - 2,0
(- sans DGC)	62 - 121	(0,38 -1,63)	(0,3 - 2,6)	(0,10 -0,41)	(0,2 - 1,0)
2) Centre du Canada Centrale au charbon					
- avec DGC[d]	69 - 133	1,56 -4,03	1,2 - 5,8	0,39 -1,01	1,0 - 2,5
(- sans DGC)	62 - 121	(0,47 -2,74)	(0,4 - 4,4)	(0,12 -0,69)	(0,3 - 1,7)
3) Est et centre du Canada Centrale nucléaire					
(- avec TER[e])	63 - 101	(0,80 -1,44)	(0,8 - 2,3)	(0,20 -0,36)	(0,5 - 0,9)
- sans TER	63 - 101	0,25 -0,89	0,3 - 1,4	0,06 -0,22	0,2 - 0,6
4, a) Ouest du Canada Centrale au charbon	62 - 121	0,28 -1,04	0,2 - 1,7	0,07 -0,26	0,2 - 0,7
4, b) Ouest du Canada Centrale au charbon (- sans effluent[f])	62 - 121	(0,70 -3,74)	(0,6 - 6,0)	(0,18 -0,94)	(0,4 - 2,3)

a) BRAM = Besoins en revenu annuel moyen.
b) La nouvelle centrale fournirait 25 p. 100 de la production totale d'électricité de l'entreprise de services publiques.
c) Augmentation du tarif pour le consommateur, calculée à partir d'un taux de base de 40 millièmes de dollars/kWh.
d) DGC = Désulfuration des gaz de carneau (coût de gestion des déchets de DGC seulement; DGC exigée par les *Directives nationales sur les émissions des nouvelles centrales thermiques*).
e) TER = Système de traitement des effluents radioactifs et d'élimination du tritium (des coûts sont indiqués même s'il n'est pas spécifiquement recommandés).
f) Sans rejet d'eaux usées de traitement (des coûts sont indiqués même s'il n'y a pas de recommandation spécifique).

présentées à l'annexe G (7). Le rapport traite aussi du prix actuel de l'électricité pour le consommateur et de la capacité prévue de production d'électricité pour chaque province en l'an 2000 (7). Des fourchettes des augmentations annuelles moyennes et des augmentations totales du prix pour le consommateur sont présentées au tableau 6.3. Les augmentations annuelles moyennes pour le consommateur varient entre 0,001 et 0,36 p. 100 par année. Les augmentations totales entre 1984 et 2000 varient entre 0,02 et 6,00 p. 100.

Les augmentations réelles sont fonction de l'emplacement et ne pourront être établies avant la fin de la construction et le début de l'exploitation des centrales. Cependant, les tableaux 6.2 et 6.3 donnent une idée des coûts reliés aux mesures de conception et aux méthodes recommandées dans le Code de la phase de conception.

L'application des recommandations du Code contribuera à protéger l'environnement aquatique et l'environnement terrestre touchés par les centrales à vapeur.

Tableau 6.3
Évaluation de l'augmentation du tarif pour le consommateur

Province	Type de combustible (système)	Pourcentage d'augmentation d'ici l'an 2000	Pourcentage d'augmentation annuelle moyenne 1984-2000
Nouvelle-Écosse	(Charbon, sans DGC)	(0,37 - 2,70[a])	(0,023 - 0,17[a])
	Charbon, DGC	0,98 - 6,00[b]	0,061 - 0,36[b]
Nouveau-Brunswick	(Charbon, sans DGC)	(0,03 - 0,20[a])	(0,002 - 0,013[a])
	Charbon, DGC	0,07 - 0,44[b]	0,004 - 0,027[b]
	Nucléaire, sans TER	0,11 - 0,42[c]	0,007 - 0,026[c]
	(Nucléaire, TER)	(0,18 - 0,54[d])	(0,011 - 0,034[d])
Ontario	(Charbon, sans DGC)	(0,01 - 0,05[a])	(0,001 - 0,003[a])
	Charbon, DGC	0,02 - 0,09[b]	0,001 - 0,006[b]
	Nucléaire, sans TER	0,20 - 0,81[c]	0,013 - 0,051[c]
	(Nucléaire, TER)	(0,34 - 1,01[d])	(0,021 - 0,063[d])
Saskatchewan	Charbon, avec effluent	0,09 - 0,86[e]	0,006 - 0,054[e]
	(Charbon, sans effluent)	(0,42 - 1,50[f])	(0,026 - 0,093[f])
Alberta	Charbon, avec effluent	0,25 - 2,43[e]	0,016 - 0,150[e]
	(Charbon, sans effluent)	(1,18 - 4,20[f])	(0,073 - 0,258[f])

[a] Sans DGC (désulfuration des gaz de carneau).

[b] Avec DGC (exigée par les *Directives nationales sur les émissions des nouvelles centrales thermiques*).

[c] Sans TER (système perfectionné de traitement des eaux usées radioactives et d'élimination du tritium).

[d] Avec TER (des coûts sont indiqués même si le système n'est pas recommandé spécifiquement).

[e] Traitement classique des eaux usées.

[f] Sans effluent (gestion des eaux usées sans effluent; des coûts sont indiqués même si le système n'est pas spécifiquement recommandé).

RÉFÉRENCES

1. Environnement Canada, Le mandat d'Environnement Canada, janvier 1984.

2. Office national de l'Énergie, Offre et demande d'énergie au Canada 1983-2005, septembre 1984.

3. Statistique Canada, Recensement du Canada 1981, ministère des Approvisionnements et Services, catalogue 95-901, août 1982.

4. Énergie, Mines et Ressources Canada, Situation énergétique 1982, 1983.

5. Monserco Ltd., Forecasting Steam-Electric Power Generation in Canada Over the Period 1983-2035, pour le compte du Service de la protection de l'environnement, mai 1983 (non publié).

6. Environnement Canada, Annuaire de l'eau du Canada 1981-1982, l'eau et l'économie, Centre des publications du gouvernement canadien, Ottawa, 1983.

7. Monenco Consultants, Cost Estimates of Compliance with Design Phase Environmental Code of Practice for Steam Electric Power Generation, préparé pour le Service de la protection de l'environnement, rapport provisoire, mars 1985 (non publié).